

**М.М. ФЕДОРОВ, И.В. НЕСТЕРЕНКО, А.А. СОЛЯНИК**

**НАЛАДКА  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ  
ЧАСТИ ШАХТНОГО  
СТАЦИОНАРНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**



2001-  
М. М. ФЕДОРОВ, И. В. НЕСТЕРЕНКО, А. А. СОЛЯНИК

622.232

9033

# НАЛАДКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ШАХТНОГО СТАЦИОНАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

31547



МОСКВА «Н Е Д Р А» 1975

Федоров М. М., Нестеренко И. В., Соляник А. А.  
Наладка электрической части шахтного стационарного  
оборудования. М., «Недра», 1975, 333 с.

В книге изложены основные требования и методы  
наладки электрической части шахтных подъемных,  
компрессорных и вентиляторных установок. Основное  
внимание уделено монтируемому оборудованию и  
попутно даны сведения по наладке действующих уста-  
новок.

Первые три главы посвящены методам наладки  
электрооборудования и аппаратуры, применяемых в  
распределительных устройствах подстанций 6, 35 и  
110 кВ. Подробно рассмотрены методы наладки схем  
управления и цепей защиты.

При описании методов наладки отдельных узлов  
электрооборудования основное внимание уделено обо-  
рудованию и аппаратуре, выпущенным в период 1970—  
1974 гг. Впервые рассмотрено влияние упругих свойств  
подъемного каната на скорость подъемной машины  
как во время разгона, так и в периоды замедления,  
причем основное внимание уделено влиянию колебаний  
скорости на работу автоматизированных схем.

Книга составлена на основании опыта, накоплен-  
ного в наладочных организациях Донбасса, причем  
особое внимание уделено установкам, используемым  
на современных шахтах со стволами глубиной 1000—  
1200 м.

Книга предназначена для инженерно-технических  
работников энергомеханической службы шахт, наладоч-  
ных организаций и проектно-конструкторских инсти-  
тутов.

Табл. 45, ил. 125, список лит. — 36 назв.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Широкое внедрение систем автоматизации для управления производственными процессами и повышение требований к надежности работы отдельных установок повлекли за собой не только многообразие схем, но и выпуск большого количества различных типов электрооборудования и электроаппаратуры.

Если 10—15 лет назад, описывая методы наладки механической и электрической части каких-либо промышленных установок, например подъемных машин, турбомашин и т. д., можно было рассмотреть почти все схемы, применяемые для их управления, и подробно проанализировать достоинства и недостатки используемой аппаратуры, то в настоящее время это сделать уже невозможно. Вследствие большого разнообразия выпускаемой аппаратуры, увеличения количества типов машин, предназначенных для выполнения родственных задач, пришлось, во-первых, разделить описание методов наладки механической и электрической части стационарного горно-шахтного оборудования и дать их в отдельных книгах, а, во-вторых, при описании методов наладки различных типов оборудования ограничиться изложением общих приемов наладки и требований, предъявляемых к настраиваемому оборудованию, кратко описывая методы наладки отдельных, наиболее типичных применяемых схем управления.

Более подробно изложены только способы наладки отдельных узлов оборудования и аппаратуры, используемых во многих схемах управления и установках.

При ревизии и наладке электрооборудования, применяемого на шахтах, следует руководствоваться требованиями Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей, Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей [16], Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах [15], Правил устройства электроустановок [14], Строительными нормами и правилами (СНП), требованиями проекта и заводских инструкций, высылаемых вместе с оборудованием, поступающим на монтажную площадку.

Электрооборудование вновь монтируемых установок должно быть подвергнуто испытаниям в объеме ПУЭ и заводских инструкций. Таким же испытаниям подвергают оборудование, вводимое на действующих установках (взамен вышедшего из строя).

Заключение о пригодности оборудования к эксплуатации дают на основании совокупности результатов испытаний и наладки, выполненной в объеме требований проекта и заводских инструкций. Ненормируемые величины оценивают сопоставлением

полученных при испытании результатов с данными об испытании однотипного оборудования, а также с имеющимися результатами предыдущих испытаний, заводских испытаний и т. д.

Проведению всяких испытаний предшествует внешний осмотр, во время которого проверяется наличие и соответствие надписей, исправность рукояток, приводов, открывающихся дверей, шторок, заземляющих устройств и т. д. Проводя внешний осмотр на новых установках, необходимо убедиться в полном соответствии требований проекта возможностям полученного оборудования.

При описании отдельных видов аппаратуры, применяемой для монтажа распределительных устройств и для управления электрооборудованием, будут подробно рассмотрены все требования, предъявляемые к осмотру панелей и отдельных видов оборудования.

Главы 1, 2, 3, написаны И. В. Нестеренко и А. А. Соляником, главы 4 — 9 М. М. Федоровым.

Авторы заранее благодарны за все замечания, которые будут сделаны читателями.

# НАЛАДКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И АППАРАТУРЫ ПОДСТАНЦИЙ 6—110 кВ

## Глава 1

### МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ И НАЛАДКИ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ АППАРАТУРЫ И ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ, ЗАЩИТЫ И СИГНАЛИЗАЦИИ

#### § 1.1. ПРОВЕРКА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И УКАЗАТЕЛЬНЫХ РЕЛЕ

Проверка промежуточных реле состоит из внешнего осмотра, регулировки механической части, проверки изоляции токоведущих частей и измерения электрических параметров [времени срабатывания, величины тока (напряжения) срабатывания, коэффициента возврата, времени возврата и т. д.]. Полный объем работы зависит от типа реле, его конструкции и выполняемых функций, т. е. конкретных условий работы. Этот последний фактор при описании типовых методов проверки мы учитывать не будем.

Приступая к внешнему осмотру, проверяют:

целость пломб;

исправность кожуха, его крепление к цоколю и наличие уплотнений между цоколем и кожухом;

при наличии стекол на кожухе — качество их крепления и состояние уплотнений;

состояние токоведущих частей (резьба винтов и втулок, отсутствие повреждений головок винтов и шлицев, наличие шайб и контргаек);

отсутствие пыли и грязи на токоведущих частях; легким подергиванием проверяют качество пайки подводящих проводов. При наличии повреждений выполняют пайку заново, причем следует иметь в виду, что применение кислот или специальных паяльных составов не допускается. Если подводы выполнены гибкими проводником, необходимо убедиться в отсутствии оборванных проводочек и прочности пайки;

все металлические части на отсутствие коррозии, железных опилок, заусенцев и вмятин. Особое внимание обращают на величину зазора между якорем и сердечником и их состояние;

величину начального и конечного зазоров между якорем и сердечником, учитывая, что их величина значительно влияет на электрические характеристики реле, а именно:

а) уменьшение начального зазора между якорем и сердечником уменьшает напряжение втягивания и увеличивает замедление при срабатывании;

б) уменьшение конечного зазора между якорем и сердечником уменьшает напряжение и увеличивает время возврата;

в) при ослаблении возвратной пружины уменьшается напряжение и увеличивается время возврата;

г) увеличение натяжения пружины контактов (или увеличение числа замыкающих контактов) увеличивает напряжение срабатывания и уменьшает время возврата;

зазоры замыкающих контактов при сработавшем реле и их пропады после включения. Аналогично выполняют для размыкающих контактов. Все перечисленные величины должны соответствовать данным заводской инструкции или сведениям, приведенным в табл. 1.1;

исправность контактов для контактных пружин, поврежденные — удаляют, а при наличии небольших дефектов исправляют;

качество затяжки винтов и гаек у токоведущих частей;

состояние подшипников, осей и призм. Удаляют старую смазку, промывают и осматривают трущиеся части и затем смазывают их снова. Особое внимание следует обращать на состояние призм или качество крепления контактных пружин, так как от этого очень часто зависит работа реле и их надежность.

Проводя осмотр отдельных узлов, необходимо учитывать, что изменение натяжения отдельных пружин очень сильно сказывается на надежности работы контактов, например ослабление возвратной пружины уменьшает надежность размыкающих «р» и ухудшает работу замыкающих «з» контактов. Аналогичное влияние оказывает и изменение хода якоря, ухудшая величину нажатия контактов и размер зазоров между подвижными и неподвижными контактами.

По большинству типов реле основные данные, характеризующие силу нажатия контактов, зазоры между контактами, зазоры между сердечником и упорами, и краткая характеристика самих реле приведены в табл. 1.1. Дополнительно приводим некоторые указания по наладке отдельных типов реле.

*Реле РП-23, РП-24, РП-232, РП-233.* Работу начинают с проверки положения контактов, контролируя расположение подвижного контакта относительно неподвижного (смещение их осей не допускается), силу нажатия и величину хода. Регулировку ведут верхней направляющей скобой как по величине хода, так и по положению ее в овальных отверстиях.

Дополнительно в реле РП-24 проверяют работу указателя, контролируют отсутствие затирания скобы и положение пластинчатой пружинки, при необходимости ее подгибают пинцетом. При обесточенном состоянии подвижная часть должна упираться в верхний упор, чтобы между ограничителем хода якоря и якорем оставался зазор в 0,5—0,6 мм.

*Реле РП-251—РП-256.* Программа работ, точнее их последовательность, аналогичны описанным выше. Проводя регулирование контактов, изменяют величину нажатия положением

Таблица 1.1

Технические данные промежуточных реле

| Тип реле | Число обмоток |      | Время, с     |          | Напряжение (В) и ток (А) срабатывания реле | Напряжение (В) и ток (А), при которых реле удерживается и срабатывает в полном положении | Зазор между контактами, мм | Прочность контактных соединений, мм | Ход траверсы, мм | Средний зазор, мм |
|----------|---------------|------|--------------|----------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------|
|          | напряжения    | тока | срабатывания | возврата |                                            |                                                                                          |                            |                                     |                  |                   |
| РП-23    | 1             | —    | $\leq 0,06$  | —        | $\leq 0,7 U_n$                             | $U \leq 0,7 U_n$                                                                         | —                          | 0,6—1,0                             | —                | Не менее 0,4      |
| РП-24    | 1             | —    | $\leq 0,06$  | —        | $\leq 0,7 U_n$                             | $I \leq 0,8 I_n$                                                                         | —                          | —                                   | —                |                   |
| РП-25    | 1             | —    | $\leq 0,06$  | —        | $0,85 U_n$                                 | —                                                                                        | —                          | —                                   | —                |                   |
| РП-26    | 1             | —    | $\leq 0,06$  | —        | $0,85 U_n$                                 | —                                                                                        | —                          | —                                   | —                |                   |
| РП-232   | 1             | 1    | $\leq 0,06$  | —        | —                                          | —                                                                                        | —                          | —                                   | —                | Не менее 0,5      |
| РП-233   | 1             | 2    | $\leq 0,03$  | —        | $0,7 U_n$                                  | $I \leq 0,8 I_n$                                                                         | —                          | —                                   | —                |                   |
| РП-251   | 1             | —    | 0,07—0,11    | —        | $0,7 U_n$                                  | —                                                                                        | —                          | —                                   | —                |                   |
| РП-252   | 1             | —    | —            | 0,5—1,0  | $0,7 U_n$                                  | —                                                                                        | —                          | —                                   | —                |                   |
| РП-253   | 1             | 3    | 0,04—0,07    | —        | $0,7 U_n$                                  | $I \leq 0,8 I_n$                                                                         | —                          | —                                   | 3,5—4,0          | Не менее 0,5      |
| РП-254   | 1             | 1    | $\leq 0,05$  | 0,5      | $0,7 I_n$                                  | $U \leq 0,65 U_n$                                                                        | —                          | —                                   | —                |                   |
| РП-255   | 1             | 3    | $\leq 0,05$  | —        | $0,7 U_n$                                  | $I \leq 0,8 I_n$                                                                         | —                          | —                                   | —                |                   |
| РП-211   | 1             | —    | $\leq 0,01$  | —        | $0,5 U_n$                                  | —                                                                                        | —                          | 0,5—0,6                             | —                |                   |
| РП-212   | 1             | —    | $\leq 0,01$  | —        | $0,5 U_n$                                  | —                                                                                        | —                          | 0,3—0,4                             | —                | Не менее 1,0      |
| РП-213   | 1             | 2    | 0,01         | —        | $\leq 0,6 U_n$                             | —                                                                                        | —                          | 0,3—0,4                             | —                |                   |
| РП-214   | 1             | 1    | 0,01         | —        | $\leq 0,6 U_n$                             | —                                                                                        | —                          | 0,3—0,4                             | —                |                   |
| РП-215   | 1             | —    | 0,01         | —        | $\leq 0,5 U_n$                             | —                                                                                        | —                          | 0,5—0,6                             | —                |                   |
| РП-341   | 2             | 1    | 0,05         | —        | $\leq 0,85 I_{уст}$                        | пускового реле                                                                           | 2,3—3,0                    | —                                   | —                | 0,5—0,6           |

неподвижного контакта (подгибанием угольников неподвижных контактов). Критерием правильного положения контактов служит величина напряжения срабатывания (не более  $0,7U_{ном}$ ). Следует помнить, что, регулируя нажатие контактов положением неподвижного контакта, одновременно можно изменять и величину хода якоря, что также сказывается как на силе нажатия, так и на напряжении срабатывания. Реле этого типа имеют несколько обмоток: напряжением и токовую и демпферную (число обмоток указано в табл. 1.1), поэтому кроме напряжения срабатывания необходимо проверять и величину тока срабатывания. Он тоже не должен превышать 70% номинального значения. Демпферные обмотки предназначены для регулирования выдержки времени. Для этой же цели служат и медные шайбы, помещаемые на среднем стержне. Изменяя количество шайб и их расположение относительно якоря реле (для получения максимальной выдержки времени шайбы устанавлывают в непосредственной близости к якорю), получают требуемую величину выдержки времени.

*Реле серии РР-210.* Четкое срабатывание контактов реле зависит от силы нажатия контактов (обычно в пределах 3—5 гс на контакт). Нажатие регулируют подгибанием неподвижных пластин и упорных пластинок. Этим же способом регулируется и начальный зазор. Он измеряется между вершинами серебряных контактов. Одновременно с регулированием зазоров проверяют и ход якоря, так как он тоже влияет на величину зазора. Ход якоря регулируют специальным винтом и измеряют по обеим сторонам керпа сердечника. Основные данные реле приведены в табл. 1.1.

*Реле РР-341 и РР-321* предназначены для непосредственного включения во вторичные обмотки трансформаторов тока и могут управляться контактами других реле. Регулируя контакты, необходимо проследить, чтобы при втягивании якоря вначале замкнулся усиленный контакт, а затем уже разомкнулся «р» контакт. Для выполнения этого условия регулируют зазор между угольником и подвижной контактной пластиной «з» контакта, контролируя его величину в момент замыкания контакта (0,45—0,55 мм). Учитывая, что контакты реле предназначены для включения и отключения значительных токов, необходимо особенно внимательно проверить силу нажатия замкнутых контактов.

*Указательное реле ЭС-21.* Проверая механическую часть, необходимо убедиться, что продольный зазор контактного валика не более 0,5 мм, а зуб указателя заходит за край отпавшего якоря на 1—1,5 мм. При втянутом якоре расстояние между зубом и якорем на всей длине указателя не более 0,7 мм.

Регулирование тока или напряжения срабатывания выполняют, изменяя натяжение возвратной пружины.

*Реле РУ-21* чаще используется в цепях напряжения; если потребуется применить его в токовых цепях, следует иметь в виду, что реле четко срабатывает от 200 Ав. Регулировка отдельных

узлов аналогична регулировке реле ЭС-21; продольный зазор барабаника должен находиться в пределах 0,3—0,4 мм.

Приступая к проверке электрических параметров промежуточных реле, определяют напряжение или ток срабатывания. Для реле напряжения следует убедиться, что они четко срабатывают при включении напряжения, равного 70—80% номинального для сетей постоянного тока и 85% для переменного тока.

Коэффициент возврата промежуточных реле не нормируется, поэтому необходимо проверить только четкое отпадание якоря реле при отключении цепи.

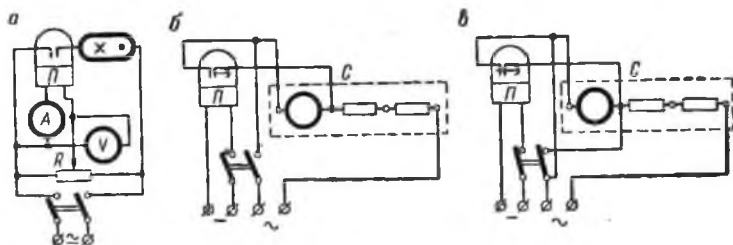


Рис. 1.1. Схема проверки промежуточного реле:

а — напряжение и тока срабатывания; б — выдержка времени у реле с «а» контактом; в — выдержка времени у реле с «в» контактом; П — промежуточное реле; R — потенциометр; C — электросекундомер

Регулирование величины тока срабатывания при включении реле ведут изменением натяжения возвратной пружины или ходом якоря, не забывая при этом о влиянии, оказываемом этими узлами на качество работы контактов. Если последовательно с промежуточным реле включено указательное, то они должны четко срабатывать при включении на обе катушки напряжения, равного 80% номинального. Если не удастся добиться четкого срабатывания, применяя обычные способы регулирования, то параллельно с катушкой указательного реле (или с катушкой промежуточного реле) подключают дополнительное сопротивление. Нижним пределом включения реле очень часто [23] считают напряжение, равное 60% номинального, так как в этом случае имеется возможность избежать ложных срабатываний реле при частичном замыкании на землю в цепях оперативного тока.

Схема проверки реле по напряжению (току) срабатывания показана на рис. 1.1, а. Приступая к проверке напряжения срабатывания, необходимо иметь в виду, что кроме обычных случаев включения применяют иногда шунтирование обмоток реле контактами других реле и одновременно включают последовательно с катушкой реле добавочный резистор. В этом случае напряжение срабатывания определяют с последовательно включенным ре-

зистором. В других схемах используют шунтирование последовательно включенного резистора на момент включения реле. Для них напряжение включения следует проверять при зашунтированном резисторе, а напряжение отключения — при включенном. Если по схеме рис. 1.1 испытывают реле напряжения, то величину

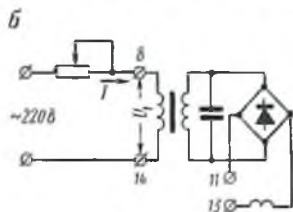
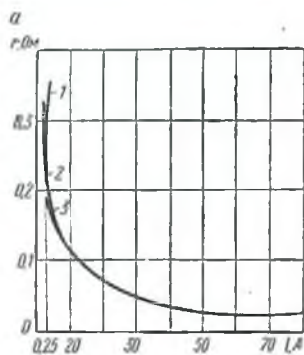


Рис. 1.2. Зависимость сопротивления реле типов РП-321 и РП-341 от величины переменного тока:

*а* — кривая зависимости; *б* — схема измерения сопротивления; 1 — зажимы 11—13 разомкнуты; 2 — на зажимы 11—13 включены для указательных реле типа РУ-21/0,025; 3 — зажимы 11—13 замкнуты

сопротивления потенциометра выбирают так, чтобы выполнялось условие  $Z_k/r = 5 \div 10$ , где  $Z_k$  — сопротивление катушки реле,  $r$  — сопротивление потенциометра.

У реле с несколькими обмотками необходимо проверять полярность выводов каждой катушки, используя батарею и милливольтметр или последовательное включение двух катушек по схеме рис. 1.1, *а*. При соединении разноименных концов (*и* и *к*) последовательно напряжение срабатывания для двух катушек будет меньше, чем для одной.

Определение времени срабатывания реле выполняется электросекундомером по одной из схем, приведенных на рис. 1.1, *б*, *в*. Выбор типа схемы зависит от конструктивного выполнения реле.

Время срабатывания таких реле чаще всего регулируется демпферной обмоткой или изменением числа медных шайб на сердечнике реле. В том и другом случае время срабатывания при включении определяется в основном временем нарастания магнитного потока реле, а время воз-

врата — временем спадающего этого потока. Иными словами, в реле постоянного тока время срабатывания зависит от постоянной времени катушки (с учетом влияния демпфирующих устройств). Чем выше постоянная времени, тем больше время срабатывания и наоборот.

В случае необходимости получения больших величин выдержки времени используют специальные схемы, предусматривающие включение конденсаторов и активных резисторов параллельно с катушкой реле. Для таких схем время выдержки зависит не только от емкости конденсатора и величины активного сопротивления, но и от времени пребывания реле под напряжением,

так как очень важно, до какой величины будет заряжен конденсатор к моменту отключения напряжения.

Несколько отличается проверка напряжения и тока включения у реле РП-341 и РП-321. Катушки этих реле подключаются ко вторичным обмоткам трансформаторов тока через выпрямительный мост и специальный трансформатор. Благодаря насыщению трансформатора сопротивление реле будет изменяться в зависимости от величины тока в первичной цепи, что приведет к изменению тока срабатывания.

Проверка величины сопротивления реле выполняется по схеме, приведенной на рис. 1.2; там же дана и кривая зависимости сопротивления реле от первичного тока. Используя эти данные и результаты проверки можно настроить реле на уставки, предусмотренные в проекте. Кроме того, сравнивая результаты эксперимента с типовой кривой, можно выяснить, имеются ли повреждения в конденсаторе и обмотках трансформатора.

## § 1.2. РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Программа проверки реле времени во многом сходна с проверкой промежуточных реле, поэтому подробно освещать этот вопрос не имеет смысла. При осмотре механической части обращают внимание на состояние плунжера у реле серии ЭВ. Он должен быть чистым и хорошо отполированным. Зазоры плунжера и латунной гильзы должны находиться в пределах 0,3—0,6 мм, зазор рычага плунжера — 1—1,5 мм.

Проводя проверку выдержки времени реле серии ЭВ, следует руководствоваться схемами, приведенными на рис. 1.1, б, в. Если реле только вводится в эксплуатацию, то целесообразно проверить выдержки времени на всех уставках шкалы и сравнить полученное время срабатывания с показаниями на шкале. Получаемый разброс не должен выходить за следующие величины:

|                                     |         |          |       |
|-------------------------------------|---------|----------|-------|
| Предел изменения выдержки времени с | 0,1—1,3 | 0,25—3,5 | 0,5—9 |
| Величина допустимого разброса, с    | 0,06    | 0,12     | 0,25  |

Для реле ЭВ-140, обеспечивающих изменение выдержки времени в пределах 2—20 с, завод допускает разброс до 0,8 с. На практике такой разброс допустим только для больших выдержек времени (обычно превышающих 10 с). Если получается значительный разброс на небольших уставках по времени, следует или отрегулировать реле заново, добиваясь уменьшения разброса до 0,2—0,3 с, или использовать другое реле с уменьшенной величиной разброса, например ЭВ-130.

Кроме проверки общей величины выдержки времени, необходимо измерить время замкнутого состояния протискающего

ющего контакта, полученные величины которых должны находиться в следующих пределах:

|                                                                    |           |            |            |         |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|------------|------------|---------|
| Максимальная выдержка времени, с . . . . .                         | 1,3       | 3,5        | 9,0        | 20      |
| Время замкнутого состояния проскальзывающего контакта, с . . . . . | 0,05—0,1; | 0,17—0,25; | 0,45—0,65; | 1,0—1,5 |

Обычно время срабатывания на заданных уставках проверяют электросекундомером при номинальном напряжении и при напряжении до 70—85% номинального, по величина разброса, т. е. разность между максимальным и минимальным временем срабатывания на одной и той же уставке, вычисляется на основании десяти замеров на одной уставке и при напряжении, равном номинальному.

Выполняя работу по проверке времени уставки, одновременно прослушивают работу часового механизма реле, она должна быть четкой, без перебоев и рывков в движении стрелки; если возникают подозрения на нечеткую работу часового механизма, то его проверяют дополнительно при многократном включении механизма вручную для максимальной уставки по времени. Если будут обнаружены срывы в работе механизма, он должен быть разобран, очищен от грязи и старой смазки и промыт в бензине. Все трущиеся узлы тщательно осмотрены на предмет обнаружения мелких дефектов (оспины, выступы, следы коррозии и т. д.), затем заново смазан и собран. Цапфы осей колес импульсные плоскости якоря и шейки штифта тяговой пружины смазывают по 1—2 капли на узел. Сборка и смазка должны происходить в чистом, теплом помещении для предотвращения попадания пыли и грязи на трущиеся узлы.

После сборки программа проверки реле повторяется полностью.

У реле времени серии РВМ, проверяя механическую часть, кроме общих положений, отмеченных ранее для промежуточных реле, руководствуются дополнительно данными, связанными с особенностями конструкции реле этой серии.

Осевой зазор рамы должен быть в пределах 0,2—0,4 мм, а осевой зазор промежуточной оси — в пределах 0,15—0,35 мм. В сцеплении с ведущей шестерней необходимо иметь зазор 0,1 мм. Для получения этих допусков можно пользоваться зазорами в отверстиях для крепления микродвигателя к плате.

Регулируя натяжение контактов, следует получить давление подвижного контакта на неподвижный 5—10 гс; такие усилия обеспечиваются при наличии прогиба 0,7—1,0 мм пластинчатых пружин подвижных контактов при полностью замкнутом контакте. Одновременно с регулировкой контактов проверяют натяжение возвратной пружины, ее натяжение должно обеспечить преодоление сопротивления пластинчатых пружин двух замкну-

тых контактов при наличии у них одинаковой установки по времени. Изменение силы натяжения пружины выполняется перемещением хвостовика для крепления пружины.

Реле этого типа подключают непосредственно ко вторичной обмотке трансформаторов тока, причем ток срабатывания при последовательно подключенных обмотках быстронасыщающегося трансформатора равен 2,4—2,5 А, при параллельном их включении — 4,8—5 А а ток возврата подвижных частей — 3,0—3,8 А для параллельного соединения обмоток. Эти величины необходимо проверить во время наладки. Проверка схемы внешних соединений реле, следует учитывать:

влияние сопротивления токовой цепи реле на режим работы трансформаторов тока. Как известно, кроме первичных обмоток быстронасыщающихся трансформаторов во вторичные обмотки трансформаторов тока подключаются катушки других реле. Суммарное сопротивление катушек всех реле и соединительных проводов должно обеспечить нормальный режим работы трансформатора тока и не вывести его характеристики из допустимых пределов погрешностей как при протекании нормальных токов, так и при токах короткого замыкания. Для выяснения величины общего сопротивления цепи во вторичной обмотке трансформатора тока, необходимо знать сопротивления отдельных составляющих и их зависимость от силы тока, протекающего по этой цепи. Для реле РВМ такая зависимость показана на рис. 1.3;

режим работы реле во время короткого замыкания. По техническим условиям при любом коротком замыкании моторчик реле должен получать питание только от одного из быстронасыщающихся трансформаторов. Если не предпринять специальных мер, то в некоторых случаях при двухфазных замыканиях и при трехфазных коротких замыканиях, когда ток короткого замыкания будет проходить через первичные обмотки обоих трансформаторов тока, моторчик реле окажется под воздействием токов короткого замыкания от двух быстронасыщающихся трансформаторов. Для предотвращения этого во внешней цепи соединений реле последовательно с замыкающимся контактом максимального реле одной фазы (например, фазы А) предусматривается размыкающийся контакт максимального реле другой фазы (например, фазы С). Однако в цепи замыкающегося контакта максимального реле фазы С размыкающегося контакта максимального реле фазы А не должно быть. Такая схема соединений обеспечит

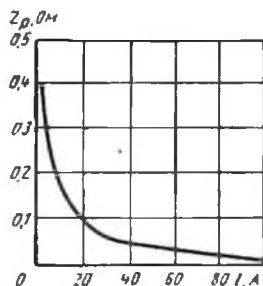


Рис. 1.3. Зависимость полного сопротивления токовой цепи реле РВМ-12 и РВМ-13 от тока в первичной обмотке насыщающегося трансформатора

требуемый режим работы реле при всех видах коротких замыканий.

Время срабатывания реле проверяют по схемам, приведенным на рис. 1.1, б, в. Разброс времени срабатывания проверяют только на максимальной уставке времени конечного контакта при полуторакратном токе срабатывания, его величина не должна превышать 0,12 с для реле РВМ-12 и 0,25 с для РВМ-13.

Проверяя время срабатывания, вначале предварительно устанавливают требуемый ток срабатывания, а затем, подготовив схему к проверке, проводят весь цикл измерений при включениях тока срабатывания «толчком», замыкая рубильник на заранее подобранную величину напряжения срабатывания.

### § 1.3. РЕЛЕ МАКСИМАЛЬНОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

*Реле максимального тока РТ-40.* Внешний осмотр выполняют в объеме, предусмотренном для промежуточных реле. Приступая к регулированию механической части, проверяют:

величину зазора подвижной части — он должен находиться в пределах 0,2—0,3 мм;

зазоры между полкой якоря и полюсами магнитопровода при полностью втянутом якоре, которые должны составлять 0,5—0,6 мм. Следует обращать внимание на изменение этих зазоров под влиянием зазора на оси подвижной системы: перемещая ее в обе стороны, проверяют минимальную величину зазора между полкой якоря и полюсом — он должен быть не менее 0,3 мм;

подвижные контакты, которые должны свободно поворачиваться на своей оси на угол не более 10—15°. Дальнейшее увеличение угла поворота нежелательно, так как может привести к заклиниванию подвижного контакта за неподвижный. Это же явление может произойти при неправильной встрече подвижного контакта с неподвижным. В момент встречи контактный мостик должен касаться неподвижного контакта немого дальше внешнего края. По мере дальнейшего движения якоря контактный мостик скользит по неподвижному контакту и в конечном положении якоря должен остановиться, не доходя до края пластины неподвижного контакта.

Суммарный воздушный зазор между подвижными и неподвижными контактами «з» контакта при отключенном положении реле должен находиться в пределах 2—2,5 мм. Аналогичное условие необходимо соблюдать для «р» контакта во включенном положении реле;

провал «з» контактов на первой уставке реле для втянутого якоря и «р» при отпущенном якоре. Его величина должна быть не менее 0,3 мм;

положение витков спиральной пружины во время перемещения якоря. Плоскость витков пружины должна быть перпендикулярна оси якоря, а витки не должны соприкасаться друг с другом

Если обнаружится отклонение, освобождают винты, крепящие пружину, и, исправляя дефект, снова затягивают их;

отсутствие заеданий или повышенных сопротивлений в трущихся частях. Движение якоря при включении и отключении реле должно быть плавным, без рывков и ударов, причем в отключенном положении реле якорь не должен доходить до левого упора на 0,2—0,5 мм, а во включенном, при установке указателя на первую уставку, между якорем и правым упором остается зазор 0,5 мм;

отсутствие вибрации контактов в момент включения от силы тока, превышающей уставку на 20% и более. Появление вибрации зависит от силы нажатия контактов в конечных положениях реле,

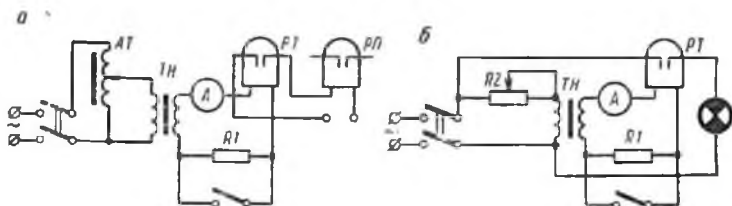


Рис. 1.4. Схемы для проверки характеристик максимальных токовых реле:  
а — с автотрансформатором АТ; б — с регулировочным реостатом

регулируемой величиной провала. Изменение величины провала выполняется или регулированием толщины прокладок в зажимном устройстве, или слегка подгибая пружинный упор. Иногда вибрация может быть вызвана слишком жесткой пружинной (даже при нормальной величине провала).

Приступая к проверке электрических характеристик реле, собирают одну из схем, указанных на рис. 1.4, а, б. Вначале снимается характеристика реле на всех уставках по одной из схем, указанных на рис. 1.4, и только после этого выполняют проверку на рабочей уставке по одной из схем рис. 1.5, а, б, в.

Снимая характеристики реле, проверяют ток тропания, ток срабатывания и ток возврата на всех уставках реле. Коэффициент возврата на первой уставке должен быть не менее 0,685, а на всех остальных — не менее 0,8. При необходимости, проводя дополнительную регулировку, можно получить на заданной уставке коэффициент возврата равным 0,85, но в этом случае на всех остальных уставках будет не более 0,8. По данным завода-изготовителя, собственное время срабатывания реле при токе  $1,2I_{уст}$  не превышает 0,1 с, а при токе  $3I_{уст}$  — не более 0,03 с, при сбросе тока толчком в пределах от  $I_{уст}$  до  $10I_{уст}$  время размыкания контакта должно быть не более 0,02 с. Пределы изменения уставок определяются типом реле, например для реле РТ-40/2 пределы уставок при последовательно включенных

катушках будут 0,5—1 А и при параллельном их соединении — 1—2 А; для реле РТ-40/10 соответственно 2,5—5 А и 5—10 А, и так для каждого типа реле. Все типы реле имеют по две катушки и по одному «з» и «р» контакту.

После снятия характеристик реле проверяют их работу, испытывая схему первичным током на рабочей и максимально-возможной уставках. Проводя это испытание по контрольным приборам, включенным в соответствии со схемами, показанными на

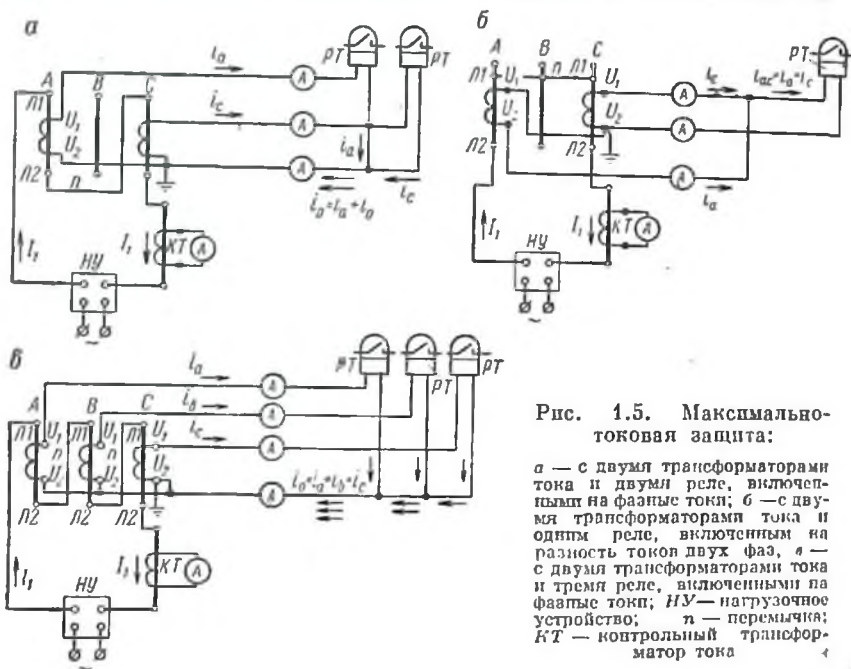


Рис. 1.5. Максимально-токовая защита:

а — с двумя трансформаторами тока и двумя реле, включенными на фазные токи; б — с двумя трансформаторами тока и одним реле, включенным на разность токов двух фаз, в — с двумя трансформаторами тока и тремя реле, включенными на фазные токи; НУ — нагрузочное устройство; п — переключки; КТ — контрольный трансформатор тока

рис. 1.5, а, б, в, можно убедиться в правильности включения цепей защиты. Варианты правильных и ошибочных соединений в схемах защит даны в табл. 1.2.

Снимая характеристики, необходимо помнить в виду, что для получения заданной величины тока срабатывания на первой уставке угол предварительного закручивания пружины составляет 27—30°; изменяя его, влияют на величину тока срабатывания на всех уставках. Это можно делать, если разброс не выходит за пределы точности работы реле  $\pm 5\%$ . Если получаемые результаты значительно отличаются от заданных уставок, необходимо сменить пружину.

Реле напряжения РН-50. Конструкция этих реле весьма сходна с конструкцией реле РТ-40, но вместо токовых катушек использованы катушки напряжения, поэтому требования к механической части реле по осмотру и методам регулирования остаются преж-

## Сила тока в отдельных фазах при разных схемах защиты

| Характеристика соединения цепей вторичной коммутации | Схемы          |        |        |              |                |        |              |                |        |
|------------------------------------------------------|----------------|--------|--------|--------------|----------------|--------|--------------|----------------|--------|
|                                                      | по рис. 1.5, а |        |        |              | по рис. 1.5, б |        |              | по рис. 1.5, в |        |
|                                                      | фаза А         | фаза В | фаза С | общий провод | фаза А         | фаза С | общий провод | фаза А         | фаза С |
| Правильная схема соединения                          | I              | I      | I      | 3I           | I              | I      | 2I           | I              | I      |
| Вторичная обмотка одного ТТ перевернута              | K              | K      | K      | K            | K              | K      | 0            | K              | K      |
| Обрыв общего провода                                 | 0              | 0      | 0      | 0            | 0              | 0      | 0            | 0              | 0      |
| Обрыв цепи в одном из ТТ (фаза А)                    | 0              | I      | I      | 2I           | 0              | I      | I            | 0              | I      |
| Обрыв цепи реле или фазы                             | 0              | K      | K      | K            | 0              | K      | K            | 0              | K      |
|                                                      |                | I      | I      | 2I           |                |        |              |                |        |
|                                                      |                | K      | K      | K            |                |        |              |                |        |

Примечание. К — коэффициент трансформации; I — нагрузочный ток; ТТ — трансформатор тока.

пими. Отклонения величин срабатывания на каждой уставке от обозначенных на ней могут отличаться на  $\pm 8\%$  при температуре окружающего воздуха  $+20^\circ\text{C}$ . Проверку реле выполняют, регистрируя напряжение срабатывания и возврата реле. Коэффициент возврата для реле типов РН-53 не ниже 0,8 и для реле РН-54 не выше 1,25. Остальные электрические характеристики, относящиеся к контактам, аналогичны данным для реле серии РТ-40.

Реле ЭТД-55I выполнены на базе реле ЭТ-520, но предназначены для защиты от замыканий на землю в сетях, где ток утечки не превышает 10 А или скомпенсирован до этой величины.

Проверка механической части близка к описанной выше для реле РТ-40, поэтому сделаем только некоторые дополнения, связанные с особенностями конструкции. Проверяя зазор между якорем и полюсными наконечниками, необходимо убедиться, что он находится в пределах 0,2—0,3 мм, причем зазоры в осях не сводят к нулю.

Поворачивая якорь рукой, определяют угол встречи мостика с неподвижным контактом; при правильно отрегулированной системе он будет равен  $60\text{--}65^\circ$ . Для предотвращения неправильного распределения усилий на каждый из неподвижных контактов мостик должен иметь зазор в пределах 0,2—0,3 мм и свободный поворот на угол не более  $12\text{--}15^\circ$ . Регулируя величину провала «з» контакта, следует иметь в виду, что слишком большая величина

провала может вызвать вибрацию в момент замыкания контакта. Величина зазора любого контакта в разомкнутом состоянии должна быть не менее 1,5 мм, а провал — 1—1,5 мм. Для проверки электрических характеристик используют общепринятую схему. Коэффициент возврата не менее 0,5, а погрешность может быть  $\pm 5\%$ .

*Реле с ограниченной зависимой выдержкой времени РТ-80.* Подключив реле этой серии, кроме общих условий проверки и осмотра, описанных для промежуточных реле, необходимо:

проверить качество зацепления червяка с зубчатым сектором, которое зависит от плавности хода сектора по червяку, глубины зацепления и хода рамки. Глубина зацепления должна равняться примерно половине или  $\frac{2}{3}$  высоты зуба сектора. Ход рамки ограничивается упорным выпотом. При правильной установке винта рамки будет останавливаться в точке, когда зацепление сектора с червяком происходит в плоскости, проходящей через ось сектора и червяка. Если упорный выпот остановит рамку раньше, то сектор может не дойти до червяка, а если позже — он полностью или частично выйдет из зацепления;

отрегулировать зазор между диском и магнитами. Как у постоянного магнита, так и у электромагнита они должны быть равны между собой и превышать суммарную величину зазоров осей диска и рамки на 0,2—0,3 мм;

проверить положение диска относительно магнита, обычно он почти не выступает за наружную грань магнита;

измерить время поворота диска на один оборот на минимальной уставке, оно не должно превышать 8 с при токе, равном 50% величины тока уставки;

выяснить наличие и величину зазоров у всех осей; они должны находиться в следующих пределах: рамки 0,25—0,35 мм, диска 0,15—0,25 мм, сектора 0,3—0,5 мм, якоря отсечки 0,1—0,2 мм;

отрегулировать величину зазора и провала контактов. Для этого можно руководствоваться следующими данными. У реле РТ-85, РТ-86 и РТ-95 зазор между «з» контактами должен быть 1,5 мм, а «р» (после срабатывания) 2 мм; у всех остальных реле для главных и сигнальных «з» контактов, а также «р» после срабатывания — 2 мм при условии, что ограничитель слегка касается пружины главных контактов. Величину зазора главных контактов регулируют подгибанием упоров, у сигнальных контактов — легким изгибом упорных пружин. Величина провала главных контактов находится в пределах 1,5—2 мм и регулируется изменением положения неподвижного контакта; у «з» сигнального контакта провал регулируется изгибом упора, ограничивающего движение пружины контактов;

проверить, чтобы правый конец якоря с короткозамкнутым витком прилегал к магнитопроводу всей плоскостью;

проверить натяжение пружины, возвращающей рамку в исходное положение при уменьшении тока в сети, и отрегулировать

ее так, чтобы обеспечивался коэффициент возврата, предусмотренный заводом (обычно не более 0,8);

убедиться, что сектор имеет надежное зацепление с червяком в момент срабатывания сигнального контакта и выходит из зацепления, не касаясь рычагом коромысла якоря, при налипши полного зазора у главного контакта (якорь отсечки притянут полностью). При необходимости момент выхода сектора из зацепления можно изменять прокладками между скобой сектора и скобой, на которой он крепится. Момент начала подъема коромысла регулируют, подгибая или коромысло, или рычаг сектора; проверить целостность короткозамкнутых витков.

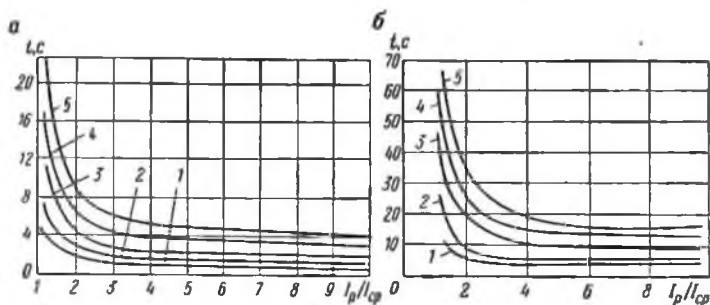


Рис. 1.6. Временные характеристики реле типов:

а — РТ-81, РТ-83 и РТ-85 с уставками: 1 — 0,5 с; 2 — 1 с; 3 — 2 с; 4 — 3 с; 5 — 4 с; б — РТ-82, РТ-84, РТ-86: 1 — 2 с; 2 — 4 с; 3 — 8 с; 4 — 12 с; 5 — 16 с

Приступая к проверке и регулировке электрической части, определяют ток трогания и возврата на всех уставках. Кроме того, на рабочей уставке проверяют время срабатывания, когда ограничитель хода сектора поставлен на максимальную уставку по времени и при выдержке времени, предусмотренной проектом. Для получения всех характеристик используют схемы, указанные на рис. 1.1, а, б. Ток трогания должен равняться току уставки с допуском  $\pm 3\%$ .

Временные характеристики реле серии РТ-80 даны на рис. 1.6.

#### § 1.4. ПРОВЕРКА И НАЛАДКА РЕЛЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ТИПА РНТ

Прежде чем приступить к рассмотрению методики наладки реле дифференциальных защит типа РНТ, необходимо остановиться на принципах действия и задачах, решаемых этими защитами.

Дифференциальные защиты, использующие реле РНТ, выполняются по схемам с циркулирующими токами. Для этого вторичные обмотки одноименных фаз трансформаторов тока,

установленных по концам защищаемого элемента, включаются параллельно реле. Полярность включения вторичных обмоток трансформаторов тока выбирают такой, чтобы при нормальном режиме работы и при к. з. вне защищаемой зоны по реле протекала геометрическая разность вторичных токов (рис. 1.7.):

$$I_p = I_{Ia} - I_{Ib}$$

При равенстве первичных токов ( $I_{Ia} = I_{Ib}$ ), одинаковых трансформаторов тока ( $n_{TI} = n_{TII}$ ) и отсутствии погрешностей трансформаторов тока  $I_{Ia} = I_{Ib}$ ,  $I_p = 0$ , и реле не работает.

При к. з. в пределах защищаемой зоны один из первичных токов меняет свое направление (рис. 1.7, б) и по реле протекает геометрическая сумма токов  $I_p = I_{Ia} + I_{Ib}$ . Если этот ток превысит ток срабатывания реле, то реле сработает и отключит защищаемый элемент.

При к. з. в пределах защищаемой зоны в системе с односторонним питанием через реле пройдет практически весь вторичный ток трансформатора тока, обтекаемого током короткого замыкания, так как сопротивление вторичных обмоток других трансформаторов тока значительно больше сопротивления реле, т. е.  $I_p = I_{Ia}$ , и защита отключит поврежденный элемент.

Рис. 1.7. Принцип действия продольной дифференциальной защиты с циркулирующими токами:

а — внешнее короткое замыкание; б — внутреннее короткое замыкание

При к. з. вне защищаемой зоны необходимо отметить, что даже при равенстве коэффициентов трансформации трансформаторов тока, отсутствии их погрешностей и равенстве первичного тока для обеих трансформаторов тока через реле протекает ток небаланса, который может достигнуть значительной величины при переходных режимах и привести к ложной работе защиты.

Основные причины, приводящие к возникновению тока небаланса, следующие:

различие в конструкциях и свойствах стали сердечников трансформаторов тока, что приводит к значительному различию их магнитных характеристик;

большое, иногда значительное различие сопротивлений нагрузки трансформаторов тока плеч защиты, вызываемое неравным расстоянием от трансформаторов тока до места установки за-

щиты, а также различные схемы соединения трансформаторов тока;

регулировка коэффициента трансформации, силового трансформатора, особенно под нагрузкой, после того, как защита была сбалансирована при первоначальном коэффициенте трансформации.

Кроме того, токи небаланса могут достигать значительных величин при бросках намагничивающего тока силовых трансформаторов, возникающих при их включении под напряжение или восстановлении напряжения после отключения внешнего к. з., а также при внешних к. з. из-за влияния аperiodической составляющей переходного режима.

Для того чтобы броски тока намагничивания и токи небаланса переходных режимов не приводили к ложной работе дифференциальной защиты, необходимо увеличивать ток срабатывания дифференциальной отсечки до трех-четырёхкратного значения номинального тока защищаемого трансформатора, что делает защиту малочувствительной. Однако, поскольку токи небаланса переходных режимов и токи намагничивания содержат значительную аperiodическую составляющую, отстройку от таких режимов можно выполнить устройством, автоматически загроуляющим защиту при наличии аperiodической составляющей. Эту задачу и выполняют реле типа РНТ с помощью специального пассивающего трансформатора НТТ, встроенного в реле.

Учитывая вышесказанное соотношение, задачу наладчика при настройке дифференциальных реле РНТ (предварительной, в лабораторных условиях) можно свести к следующему:

- внешний осмотр и регулировка механической части реле;
- проверка электрических характеристик и параметров реле.

В настоящее время на подстанциях, обслуживающих угольные шахты, нашли распространение дифференциальные защиты с реле РНТ. Реле этого типа имеют несколько модификаций, но в каждом из них предусмотрены трансформатор НТТ и исполнительное реле типа РТ-40 (в старых выпусках ЭТ).

Приступая к наладке реле, начинают осмотр исполнительного реле и регулировку его контактов. Объем работы аналогичен описанному ранее для серийного реле РТ-40.

Снятие характеристик исполнительного органа производится вначале без НТТ. Для этого собирают схему (рис. 1.8) и снимают характеристику реле на заводской установке (поводок противодействующей пружины должен находиться на средней части шкалы). При этом измеряются напряжение и ток срабатывания исполнительного органа в начальный момент вытягивания якоря. Для реле ЭТ-520 ток срабатывания должен быть  $0,21 \pm 0,01$  А, а напряжение срабатывания — 1,5—1,6 В. Для реле РТ-40 эти величины должны составлять  $0,17 \pm 0,01$  А и  $3,6 \pm 0,1$  В. К коэффициенту возврата требования обычные в объеме наладки реле РТ-40 и ЭТ-520.

После подсоединения исполнительного органа к вторичной обмотке НТТ (рис. 1.9) производят определение м. д. с. реле при полном числе витков  $w_1$  первичной (рабочей) обмотки. Штепсельные вилы к. з. обмотки устанавливают в положение Г—Г (реле РНТ-562) или  $r_k = 0$  (реле РНТ-565 на рис. 1.10 не показано).

М. д. с. определяют по формуле

$$F_{\text{ср}} = w_1 I_{\text{ср}},$$

где  $I_{\text{ср}}$  — ток срабатывания реле.

Для разных модификаций реле м. д. с. срабатывания должна быть равной  $60 \pm 2$  А или  $100 \pm 2$  А. При отклонении результатов измерений на  $\pm 10\%$  производят регулировку м. д. с. либо нагрузочным сопротивлением в цепи вторичной обмотки, либо перемещением поводка исполнительного органа.

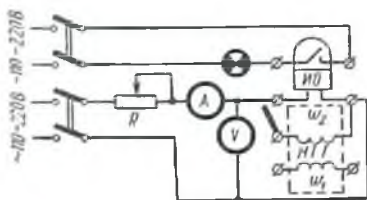


Рис. 1.8. Схема проверки параметров исполнительного органа

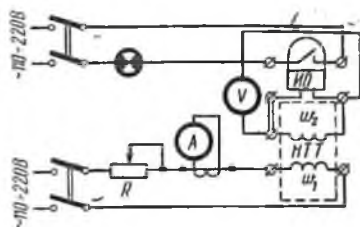


Рис. 1.9. Схема определения м. д. с. срабатывания и снятия вольтамперных характеристик НТТ

После настройки м. д. с. срабатывания следует определить индукцию срабатывания реле. Это осуществляют измерением напряжения срабатывания при заклиненном якоре реле с помощью вольтметра, как показано на рис. 1.8. Индукция срабатывания реле

$$B_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{ср}}}{4,44 w_2 Q \cdot 10^{-4}},$$

где  $w_2$  — полное число витков вторичной обмотки, охватывающей крайние стержни НТТ с поперечным сечением  $Q = 1,25 \text{ см}^2$ .

После окончанья настройки проверяют коэффициент возврата реле по первичному току, который должен находиться в пределах 0,6—0,7.

Для проверки правильности выполнения первичных обмоток реле собирается схема, как показано на рис. 1.9, и определяется м. д. с. срабатывания на всех отайках. М. д. с. срабатывания реле должна быть равной  $60 \pm 2$  или  $100 \pm 2$  А.

Проверка исправности магнитной системы и обмоток НТТ производится по схеме рис. 1.9. При этом измеряется напряжение на обмотке исполнительного органа (при заклиненном в исходном положении якоре) для положений штепсельных вилок коротко-

замкнутой обмотки А—А и Г—Г при  $r_k = 0$  и  $r_k = 10$  Ом (у модернизированных реле). Измерение напряжения производят для значений м. д. с. 0,5; 1; 2; 3;  $5F_{ср}$  и строят зависимость  $U_2 = f(F_1)$ . По этой характеристике судят об исправности магнитной системы и обмоток НТТ. Используя полученные данные, можно судить о надежности работы реле при повреждении в зоне защиты. Это осуществляют приближенным определением кратности вторичного тока по величине напряжения на реле при кратностях м. д. с. срабатывания, равных 2 и 5:

$$n_2 = \frac{U_{2,2}}{U_{ср}} = 1,2 \div 1,3; \quad (1.1)$$

$$n_5 = \frac{U_{2,5}}{U_{ср}} = 1,35 \div 1,5; \quad (2.1)$$

где  $U_{2,2}$  — напряжение на реле при кратности м. д. с. срабатывания, равной 2;  $U_{2,5}$  — напряжение на реле при кратности м. д. с. срабатывания, равной 5;  $U_{ср}$  — напряжение на реле при кратности м. д. с., равной 1.

Следует иметь в виду, что при уменьшении указанных кратностей снижается надежность работы реле при повреждении в зоне защиты, а при увеличении уменьшается степень отстройки от броска токов намагничивания.

Проверку правильности сборки к. з. обмотки производят по схеме рис. 1.10. Для реле РНТ-562—РНТ-564 проверку производят при положении штепсельных винтов короткозамкнутой обмотки в гнездах А—А, Б—Б, В—В, Г—Г.

М. д. с. срабатывания во всех случаях должна быть одинакова. Для реле РНТ-565÷РНТ-567 проверка производится при  $r_k = 0$ .

Дополнительно необходимо отметить, что при неправильном включении одной из частей короткозамкнутой обмотки м. д. с. уменьшается, а ток короткозамкнутой обмотки близок к нулю.

Для определения степени отстройки реле от неустановившихся (переходных) токов снимается характеристика реле  $I_{срф} = f(K_{сн})$  по схеме рис. 1.11. Аперiodическую составляющую в условиях проверки реле заменяют постоянным током, который пропускают по одной из обмоток НТТ, а по другой обмотке — синусоидальный.

У реле РНТ-562÷РНТ-564 характеристика  $I_{срф} = f(K_{сн})$  снимается при установке штепсельных винтов к. з. обмотки в положении А—А, Б—Б, В—В, Г—Г, а у реле РНТ-565—РНТ-567 — при установке  $r_k = 0$  и  $r_k = 10$  Ом.

Задавая значения постоянного тока, для каждого из них определяют переменный ток при срабатывании реле. Для более

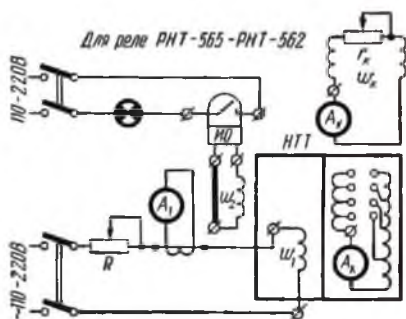


Рис. 1.10. Схема проверки короткозамкнутой цепи реле РНТ

четкой фиксации момента срабатывания реле на выходе РНТ устанавливают реле РП-23. На основании полученных данных определяют:

$$I_{ср} = \frac{I_{ср*}}{I_{ср.н}};$$

$$K_{см} = \frac{I_a}{I_{ср}},$$

где  $I_{ср*}$  — ток срабатывания реле при наличии постоянной составляющей;  $I_{ср.н}$  — номинальный ток срабатывания реле;  $I_a$  — постоянный (аперподтчекский) ток подмагничивания реле, и строится характеристика  $I_{ср*} = f(K_{см})$ , которая должна быть близка к типовой, указанной в заводской инструкции.

Кроме того, значения относительного тока срабатывания при  $K_{см} = 0,5$  не должны отличаться от каталожных данных более чем на 5%.

После окончания проверки характеристик реле набирают расчетное число витков первичных обмоток НТТ для всех сторон защищаемого трансформатора, устанавливают выбранное

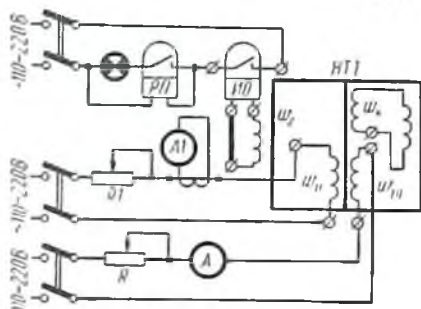


Рис. 1.11. Схема снятия характеристик  $I_{ср*} = f(K_{см})$

положение штепселей короткозамкнутой обмотки (или выбранное сопротивление) и проводят повторную проверку первичного тока срабатывания реле м. д. с. срабатывания для каждой стороны защищаемого трансформатора. После определения коэффициента возврата реле проверка реле дифференциальной защиты оканчивается.

## § 1.5. БЛОКИ ПИТАНИЯ И ЗАРЯДНЫЕ УСТРОЙСТВА

Блоки питания предназначаются для питания выпрямленным током аппаратуры релейной защиты, сигнализации и управления, выполненных на номинальные напряжения 24—220 В. Выпускаемые промышленностью блоки БПТ-11, БПН-11, БПТ-101, БПН-101, БПТ-1001, БПН-1001, БПТ-1002, БПН-1002 различаются конструктивно, мощностью и выходным номинальным напряжением.

На подстанциях 35—110 кВ строящихся шахт нашли применение блоки питания серий 1001 и 1002 с выходным номинальным напряжением 110 и 220 В. Принципиальная схема блока питания БПТ-1002 приведена на рис. 1.12. Блоки рассчитаны на мощность 800—1500 Вт в кратковременном режиме. Блок питания БПТ-1002 состоит из насыщающегося трансформатора тока с мостом из

кремневых выпрямителей на выходе. Для снижения амплитудных значений напряжения на выходе, а также для стабилизации его среднего значения параллельно вторичной обмотке насыщающегося трансформатора включают емкость и дроссель, образующие с ветвью намагничивающая трансформатора феррорезонансный контур.

На первичной обмотке трансформатора блока БПТ-1002 предусмотрены ответвления, предназначенные для подключения к трансформатору тока. Для получения на выходе блока напряжения

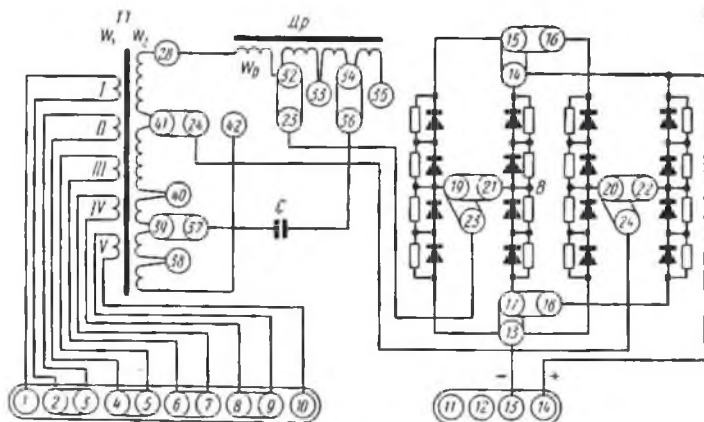


Рис. 1.12. Принципиальная схема блока питания типа БПТ-1002 (положение переключателя на схеме показано для номинального выходного напряжения 110 В и номинального значения емкости 100 мкФ):

ТТ — насыщающийся трансформатор тока; В — выпрямительный мост; С — конденсатор; Др — дроссель; W<sub>1</sub> — первичная обмотка трансформатора тока; W<sub>2</sub> — вторичная обмотка трансформатора тока

110 или 220 В выпрямленного тока необходимо выполнить переключения на плате дросселя, используя при этом соответствующие ответвления на вторичной обмотке трансформатора и обмотке дросселя.

В объем наладочных работ блоков питания входят испытания изоляции, проверка выпрямителей, измерение величины тока наступления феррорезонанса (для блоков БПТ) и средних значений выходных напряжений.

Сопротивления изоляции блоков питания между любыми электрически не связанными токоведущими частями, а также между ними и корпусом блока при температуре окружающего воздуха  $+20 \pm 5^\circ \text{C}$  и относительной влажности до 80% должны быть не менее 10 МОм. Электрическую изоляцию всех цепей блоков питания относительно корпуса согласно ПУЭ [14] испытывают повышенным напряжением 1000 В промышленной частоты в течение 1 мин.

Число витков первичной обмотки блоков БПТ, включаемых на трансформаторы тока, выбирают следующим образом. Снимают вольт-амперную характеристику трансформатора тока со стороны вторичной обмотки и сравнивают с семейством вольт-амперных характеристик, снятых со стороны входа ненагруженного блока. Число витков первичной обмотки трансформатора блока БПТ выбирается таким образом, чтобы вольт-амперная характеристика трансформатора тока проходила выше вольт-амперной характеристики блока при токах более 5 А. Характеристики токовых элементов снимают по схеме рис. 1.13 через сопротивление

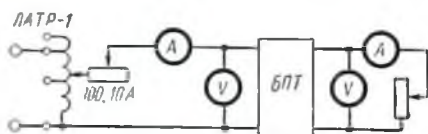


Рис. 1.13. Схема для снятия вольт-амперной характеристики токового блока

порядка 100 Ом при питании блока от лабораторных трансформаторов ЛАТР-1.

При испытаниях желательно вводить максимально возможное сопротивление реостата для получения возможно более синусоидальной кривой тока. На входе могут быть использованы

амперметры и вольтметры переменного тока любой системы, на выходе — только магнитоэлектрические.

При плавном увеличении тока в первичной обмотке и отсутствии нагрузки на выходе феррорезонанс в блоках БПТ-1001 и БПТ-1002 наступает при числе ампер-витков первичной обмотки трансформатора  $840 \pm 100$ . Момент начала феррорезонанса определяют по резкому скачку напряжения на выходе блока питания. Для регулирования тока начала феррорезонанса во вторичной обмотке насыщающего трансформатора и обмотке дросселя предусмотрены ответвления (см. рис. 1.12). Для проверки исправности выпрямителей омметром определяют прямое и обратное сопротивление диодов.

Строят характеристики  $U_{\text{вых}} = f(I_{\text{rx}})$  без нагрузки и с нагрузкой. В качестве нагрузки используются реостаты с соответствующими допустимыми токами и сопротивлением. Следует иметь в виду, что при проведении измерений нагрузка должна подключаться на время не более 5 с.

Основной нагрузкой блоков являются электромагниты отключения, которые по существующим нормам должны надежно работать при снижении напряжения до 65% номинального. При питании оперативных цепей от блоков возможны значительные понижения их напряжения, вследствие чего желательно электромагниты отключения отрегулировать на напряжение срабатывания 45—50% номинального. При этом в наиболее тяжелых и маловероятных случаях можно допустить снижение напряжений на выходе блоков до 70—75% номинального.

По характеристике  $U_{\text{вых}} = f(I_{\text{rx}})$  нагруженного блока определяют вторичный ток надежной работы. Первичный ток надежной

работы находятся умножением вторичного тока надежной работы на коэффициент трансформации трансформатора тока.

Трансформаторы тока после сборки токовых цепей проверяют первичным током.

Характеристики блоков напряжения типа БПН снимают по схеме, показанной на рис. 1.14, а, б. Вместо автотрансформаторов ЛАТР-1 для снятия характеристик блоков в несимметричных режимах целесообразно использовать трехфазный автотрансформатор типа РНТ-220-6 с двумя независимыми группами движков (рис. 1.14, в). Для измерения тока и напряжения на входе

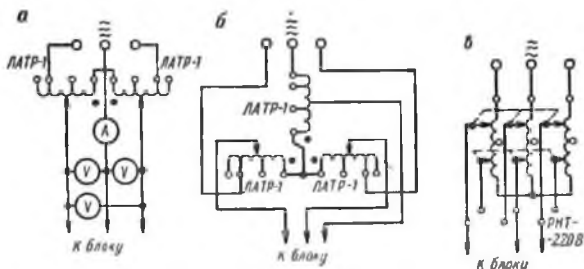


Рис. 1.14. Схемы включения регулировочных автотрансформаторов для проверки трехфазных блоков напряжения:

а — для проверки симметричного режима; б — для проверки несимметричных режимов; в — то же, с трехфазным автотрансформатором РНТ-220-6

блока используют амперметры и вольтметры переменного тока любого типа; амперметр желательно иметь многопредельный. На выходе тока и напряжения следует измерять магнитоэлектрическими приборами.

Перед включением питания переключатели и накладки в блоках БПН должны быть установлены в положения, соответствующие выбранным уставкам. При холостом ходе блока плавно увеличивают напряжение на его входе до 10—15% номинального. При этом напряжении определяют ток холостого хода на входе блока и выходное напряжение. Ток холостого хода должен составлять не более 10—25%, а выходное напряжение — 10—15% значений номинального напряжения. Отклонения от этих соотношений указывают на вероятность повреждения блока, и подъем напряжения следует прекратить до выяснения причин отклонений. Величина тока холостого хода может быть завышенной вследствие: ошибок в монтаже; пробоя диодов в мосте; наличия к. з. витков в обмотках трансформатора.

Если блок БПН исправен, то перед снятием его основных характеристик следует определить величину токов к. з., которые необходимы для проверки надежности работы предохранителей.

При напряжении на входе блока около 10% номинального поочередно замыкают выход и одно из плеч выпрямительного моста. Ток к. з. в действительных условиях определяют пересчетом измеренного тока на номинальное напряжение: если измерение тока производилось при напряжении, равном 10% номинального, то при номинальном напряжении ток к. з. будет в 10 раз больше. Действительный ток к. з. при номинальном напряжении будет выше расчетного вследствие того, что сопротивление выпрямителей при увеличении тока снижается. Для окончательной проверки блока БПН достаточно снять зависимость выпрямленного напряжения на холостом ходу блока и при полной нагрузке от входного напряжения только на выбранных ответвлениях обмоток. Нагрузкой блока при этих измерениях служат обычные реостаты.

Длительное протекание тока полной нагрузки недопустимо, и все измерения нужно проводить как можно быстрее.

В зарядном устройстве типа УЗ-401 при внешнем осмотре убеждаются в отсутствии явных повреждений, проверяется надежность контактных соединений.

Сопротивление изоляции испытывают мегомметром на 500—1000 В. Испытание изоляции повышенным напряжением производят согласно ПУЭ [14] напряжением промышленной частоты величиной 1000 В в течение 1 мин.

Выбор отпаяк на вторичной обмотке трансформатора выполняется в зависимости от величины напряжения на входе при напряжении заряда конденсаторов 385—400 В в соответствии с табл. 1.3.

Таблица 1.3

Выбор отпаяк на вторичной обмотке трансформатора

| Напряжение<br>входа, В | Контактное разделение цепей<br>( $C_2 = 0$ , переключки 12—4 сняты) |                                            | Диодное разделение цепей ( $C_2 =$<br>$= 0,5$ мкф, переключки 12—4<br>установлены) |                                                  |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                        | $R_6 = 0$<br>(переключки<br>4—6 уста-<br>новлены)                   | $R_6 = 4$ кОм<br>(переключки 4—6<br>сняты) | $R_6 = 0$ (переключки<br>4—6 уста-<br>новлены)                                     | $R_6 = 4$ кОм<br>(переключки 4—6<br>установлены) |
| 90                     | VI                                                                  | —                                          | V                                                                                  | V                                                |
| 95                     | V                                                                   | —                                          | IV                                                                                 | IV                                               |
| 100                    | IV                                                                  | VI                                         | III                                                                                | III                                              |
| 105                    | III                                                                 | V                                          | II                                                                                 | II                                               |
| 110                    | II                                                                  | IV                                         | I                                                                                  | I                                                |

Выходное напряжение измеряют вольтметром с внутренним сопротивлением 1000—2000 Ом/В.

Реле минимального напряжения РН проверяют по общепринятой схеме напряжения на входе зарядного устройства.

Реле поляризованное РП должно срабатывать при напряжении не выше 70% напряжения, подведенного к первичной обмотке

трансформатора ТН и иметь коэффициент возврата не менее 0,25. Междуконтактный зазор должен быть не менее 0,4 мм (измеряется щупом).

Напряжение срабатывания реле РП, измеренное на заряжаемых конденсаторах, должно быть около 60 В, напряжение возврата — около 220 В.

После настройки поляризованного реле проверяют его работу при повреждениях; закорачиванием выпрямителей в УЗ-401 имитируют их пробой, закорачиванием выходной цепи после защитного сопротивления, имитируют к. з. в заряжаемых конденсаторах. Закорачивать заряжаемые конденсаторы нельзя, так как будут пробиты разделительные диоды.

Чебоксарский электроаппаратный завод начинает выпуск блоков типа БПЗ-401, предназначенных для питания оперативных цепей релейной защиты или заряда конденсаторов, энергия которых используется для действия электромагнитов отключения выключателей. Блок БПЗ-401 представляет собой синтез двух устройств: блока питания типа БПН-101/1 и зарядного устройства типа УЗ-401. С выпуском блоков БПЗ-401 блоки питания БПН-101/1 и устройства УЗ-401 будут сняты с производства.

Принципиальная схема блока питания и заряда БПЗ-401 приведена на рис. 1.15.

Оперативные цепи релейной защиты включаются на клеммы 7 и 9, а заряжаемые конденсаторы — на клеммы 6 и 9. Одновременное использование блока в качестве зарядного устройства и блока питания оперативных цепей возможно при условии отключения конденсаторов перед их использованием.

Реле РП служит для сигнализации при исчезновении выходного напряжения, а диоды Д9 и Д10 в этом случае предотвращают разряд конденсаторов. Конденсатор С1 защищает диоды от кратковременных перенапряжений, а С2 служит для устранения вибрации подвижной системы реле РП из-за наличия переменной составляющей в выходном напряжении. Вывод одного полюса вторичной обмотки ТН на клемму 5 позволяет выполнить на двух блоках БПЗ-401 трехфазную мостовую схему выпрямления, включая эти блоки на разные линейные напряжения. Применяя последовательное или параллельное соединение первичных и

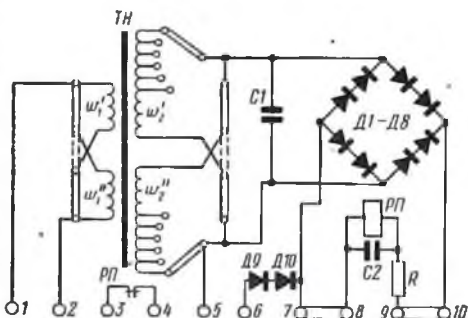


Рис. 1.15. Принципиальная схема блока питания и заряда БПЗ-401

вторичных обмоток, можно изменять уставки номинального входного и выходного напряжения, а также компенсировать отклонения величин входных напряжений от номинальных значений.

Время заряда конденсаторов при питании от БПЗ-401 уменьшается в 210 раз по сравнению с блоками УЗ-401 из-за повышения мощности трансформатора *ТН* и выпрямительных диодов. В зарядной цепи блока БПЗ-401 отсутствует токоограничивающее сопротивление. Его роль выполняет внутреннее сопротивление  $R_T$  трансформатора *ТН*. Первичные и вторичные обмотки *ТН* расположены concentrically на одних и тех же катушках, поэтому индуктивностью рассеяния при приближенных расчетах, так же как и прямым сопротивлением диодов, можно пренебречь.  $R_T$  представляет собой сопротивление меди обмоток трансформатора и составляет 43,3 Ом. Ввиду малого значения этого сопротивления, сопротивление источника  $R_{\Sigma}$ , на который включается блок БПЗ-401, может значительно увеличить время заряда конденсаторов. При наладочных работах измерение времени заряда конденсаторов удобно производить с помощью простейшей схемы из одного двухполюсного выключателя и реле с регулируемым временем срабатывания. Одним контактом выключателя через размыкающий контакт реле подается напряжение на БПЗ-401, а другим контактом — напряжение на реле. При срабатывании реле «р» контакт отключает БПЗ-401 от сети, т. е. БПЗ-401 подключается к сети на определенный промежуток времени. Изменяя время срабатывания реле, добиваемся, чтобы за этот промежуток времени конденсаторы успели зарядиться до необходимого напряжения, которое должно измеряться электростатическим вольтметром. Контакты выключателя не должны иметь разновременность замыкания и размыкания.

Реле *РП* проверяют так же, как при испытаниях зарядного устройства УЗ-401.

Исправность выпрямительных диодов проверяют обычным методом. Некоторые технические данные блока БПЗ-401:

|                                                                                      |                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Номинальные входные напряжения, В . . . . .                                          | 100, 110, 127 или 200 |
| Номинальное выпрямленное напряжение, В . . .                                         | 110—220               |
| Напряжение заряда, В, в установившемся режиме при уставке выходного напряжения 220 В | $400 \pm 20$          |
| Выпрямленное напряжение, В:                                                          |                       |
| при отсутствии нагрузки, не более . . . . .                                          | 130 (260) *           |
| при сопротивлении нагрузки, равном минимально допустимому значению, не менее . .     | 95 (190)              |

## § 1.6. ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ

При внешнем осмотре вторичных цепей проверяют соответствие проекту и качество монтажа. Обращают внимание на надежность контактных соединений, наличие шайб и т. д. Алюминиевые жилы

\* Цифры перед скобками относятся к уставке выпрямленного напряжения 110 В, а в скобках — к уставке 220 В.

подключаются под звездчатую шайбу, клеммы слегка смазываются техническим вазелином.

Неполадки во вторичных цепях могут привести к отказам и авариям. Поэтому аппаратура и цепи защиты управления и сигнализации должны тщательно проверять. Определяют напряжение (ток) срабатывания и возврата промежуточных реле и других элементов схем защиты управления и сигнализации. Вторичные цепи прозванивают по монтажным и принципиальным схемам, одновременно проверяют правильность маркировки жил кабелей и самих кабелей, заземление жил в местах, предусмотренных проектом. Проверяют плавкие вставки предохранителей и соответствие их проекту или расчетным данным, сечение проводов, надежность крепления шпилек, штырей, ламелей, винтов и гаек, а также всех контактных соединений и сопротивление изоляции.

При преиспытаниях измеряют сопротивление изоляции вторичных цепей защиты, управления и сигнализации со всеми присоединенными аппаратами (катушки проводов, приборы, контакторы, вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения и т. п.), а также испытывают их повышенным напряжением, согласно ПУЭ.

Проверка взаимодействия элементов схемы позволяет убедиться в том, что монтаж цепей выполнен правильно, без отступления от проекта и требований ПУЭ. При новом включении проверку взаимодействия производят подачей на цепи управления, сигнализации и защиты напряжения величиной 100 и 80% номинального. Периодически контролируют величину поданного напряжения. Взаимодействие реле схемы проверяют при замыкании и размыкании вручную контактов реле, наблюдении за работой схемы и сопоставлении фактической последовательности работы реле с последовательностью, предусмотренной проектом. При проверке взаимодействия реле и других элементов схемы контролируют:

последовательность работы элементов схемы от пусковых до выходных реле;

выдержку времени при действии на отключение и включение выключателя;

взаимодействие реле при имитации всех возможных видов к. з.; действия блокировки;

переключение в цепях тока и напряжения;

отсутствие ложных цепей в схеме защиты на панели при имитации перегорания предохранителей;

надежность одновременного отключения или включения нескольких выключателей, если это предусмотрено проектом.

При применении переменного оперативного тока проверку взаимодействия проводят в зависимости от источника оперативного тока. Для блоков питания имитируются все возможные случаи питания их от тока и напряжения. Зарядное устройство проверяют при подаче на его вход напряжения, равного 70, 100 и 110% номинального.

## § 1.7. СБОРКА ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ И НАЛАДКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Токовые цепи дифференциальной защиты должны быть собраны так, чтобы при любом повреждении в зоне действия защиты она действовала на отключение, а при любых внешних к. в. не срабатывала.

Даже при правильном включении токовых цепей дифференциальных защит в нормальном режиме и при внешних нормальных замыканиях в реле проходят, как указывалось выше, токи небаланса.

Для уменьшения величины токов небаланса следует:

коэффициенты трансформации трансформаторов тока, установленных с разных сторон защищаемого трансформатора, выбирать такими, чтобы вторичные токи, протекающие в соединительных проводах, были возможно ближе по величине;

трансформаторы тока, установленные с разных сторон защищаемого трансформатора, включать так, чтобы токи в соединительных проводах одноименных фаз совпадали по углу;

принять меры по отстройке дифференциальной защиты от аперiodической составляющей тока небаланса (применением промежуточных насыщающихся трансформаторов).

Для правильного включения токовых цепей дифференциальной защиты трансформатора необходимо знать схему и группу соединения его обмотки. Кроме того, должна быть определена полярность обмоток всех трансформаторов тока, используемых в схеме защиты.

На подстанциях угольных шахт монтируют, как правило, силовые трансформаторы с группой соединений  $Y_0/\Delta-11$ . Ниже будет рассмотрена наладка дифференциальных защит подобных трансформаторов.

Наладка схемы дифференциальной защиты трансформатора начинается со сборки токовых цепей защиты. При этом имеется в виду, что предварительно сняты вольт-амперные характеристики трансформаторов тока, определены однополярные зажимы их первичных и вторичных обмоток, налажены реле дифференциальной защиты.

Перед началом сборки токовых цепей необходимо на месте монтажа зарисовать фактическую схему соединения первичных обмоток трансформаторов тока дифференциальной защиты, т. е. иметь ясное представление о том, в какую сторону направлен вывод первичной обмотки Л1 каждого трансформатора тока: в сторону жил или в сторону трансформатора. В силовых трансформаторах с группой соединений  $Y_0/\Delta-11$  существует угловой сдвиг между первичными токами на стороне высшего и низшего напряжения. Поэтому, если собрать токовые цепи дифференциальной защиты такого трансформатора без учета этого обстоятельства,

то в соединительных проводах защиты будет протекать ток, обусловленный этим сдвигом.

Для компенсации углового сдвига трансформаторы тока, установленные в схеме дифференциальной защиты, с одной стороны соединяют в звезду, а с другой — в треугольник.

На рис. 1.16 приведена схема дифференциальной защиты трансформатора  $Y/\Delta$ , в которой для экономии одного трансформатора тока применяют схему соединения трансформатора тока в неполную звезду.

Эта схема, получившая наибольшее распространение, применима потому, что протекающая в нулевом проводе сумма токов фаз  $A$  и  $C$  равна току фазы  $B$  с обратным знаком.

Трансформаторы тока, установленные на стороне высшего напряжения, где обмотки силового трансформатора соединены в звезду, соединяют в треугольник с учетом полярности так же, как соединены в треугольник обмотки низшего напряжения силового трансформатора.

Трансформаторы тока, установленные на стороне низшего напряжения, где обмотки силового трансформатора соединены в треугольник, соединяют в звезду с учетом полярности так же, как соединены в звезду обмотки высшего напряжения силового трансформатора.

При этом фазовые (соединительные) провода подключают к выводам вторичных однополярных обмоток с выводами первичных обмоток, подсоединенных или к шинам, или к выводам силового трансформатора. Этим (см. рис. 1.16) обеспечивают компенсацию углового сдвига вторичных токов дифференциальной защиты во всех режимах. Кроме того, вторичные токи, равные по величине и противоположные по знаку, относительно реле будут циркулировать в соединительных проводах, а в реле будет проходить только ток небаланса, равный разности вторичных токов.

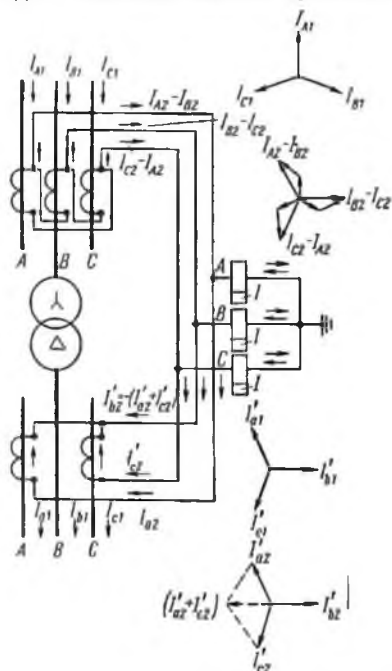


Рис. 1.16. Схема соединения токовых цепей дифференциальной защиты трансформатора  $Y/\Delta$  при установке с низшей стороны силового трансформатора двух трансформаторов тока

С учетом всех вышеприведенных соображений и собирают токовые цепи дифференциальной защиты. Причем еще до сборки схемы составляют требуемую схему защиты с учетом фактической полярности трансформаторов тока, схемы сборки обмоток силового трансформатора, приведенной в его паспорте, и схемы дифференциальных реле. Контроль за сборкой токовых цепей по имеющейся схеме поможет избежать ошибок при монтаже.

После сборки всех токовых проводов защиты производят предварительную проверку правильности сборки схемы первичным током со стороны трансформаторов тока, установленных на стороне низшего напряжения трансформатора, и включая ток в соединительные провода, подсоединенные к трансформаторам тока, собранным в треугольник. Проверку производят обычным способом, как и у простых максимальных защит, а распределение токов в схеме контролируют вольтамперфазоиндикатором ВАФ-85 непосредственно на дифференциальных реле соответствующих фаз.

Однако в связи с тем, что при этом отсутствует возможность проверки правильности сборки токовых цепей и трансформаторов тока, соединенных в треугольник, измерения тока небаланса в нулевом проводе защиты и напряжения небаланса на исполнительном органе дифференциального реле, убедиться в правильности сборки схемы дифференциальной защиты и окончательной ее паладке можно лишь одним из следующих способов: первичным (рабочим) током нагрузки; уравнительным током; током к. з. при питании от постороннего источника; импульсами постоянного тока; измерением индуктированного напряжения в первичной цепи.

В практике шахтного строительства получили распространение, как наиболее простые и надежные, первые два способа проверки.

При проверке дифференциальной защиты трансформатора по первому способу дифференциальная защита трансформатора выводится из работы, а силовой трансформатор включается под нагрузку, которая должна составлять не менее 25% номинальной. Чтобы убедиться в правильности сборки токовых цепей и выполнения дифференциальной защиты в целом, необходимо: измерить вторичные токи в цепи каждого трансформатора тока; измерить напряжения небаланса на зажимах обмотки исполнительного органа каждого реле; снять и построить векторную диаграмму токов всех плеч дифференциальной защиты.

Измерение напряжения небаланса и вторичного тока в цепи каждого трансформатора тока позволяет сразу оценить правильность сборки схемы токовых цепей и определить, допущена ли ошибка при соединении трансформаторов тока или выборе их коэффициентов трансформации.

Измерение токов проще всего производить ВАФ-85, а измерение напряжения небаланса — вольтметром с внутренним сопротивлением не менее 10 000 Ом/В, например ламповым.

Однако установить точно, какая именно ошибка допущена при сборке схемы, с помощью только измерения токов и напряжений нельзя. Для этого необходимо снять векторную диаграмму. Проще всего снимать векторную диаграмму с помощью ВАФ-85, так как при пользовании этим прибором нет необходимости размыкать токовые цепи. Для снятия векторной диаграммы можно использовать любую симметричную систему напряжения, синхронную с измеряемыми токами. При этом снимают векторную диаграмму токов дифференциальной защиты.

Положительное направление токов в обоих плечах дифференциальной защиты принимается либо от трансформаторов тока к реле, либо наоборот.

Принятому положительному направлению токов от трансформаторов тока к реле соответствует диаграмма, приведенная на рис. 1.17.

В табл. 1.4 приведены для примера некоторые неправильные схемы соединения трансформаторов тока дифференциальных защит трансформаторов с группой соединения  $Y/\Delta-11$ .

Ошибки, выявленные при снятии векторной диаграммы, необходимо устранить и затем вновь снять векторную диаграмму токов.

После того как с помощью векторной диаграммы будет установлено, что токовые цепи дифференциальной защиты собраны правильно, необходимо установить правильность выполнения дифференциальной защиты в целом. Для этого вольтметром с внутренним сопротивлением не менее 10 000 Ом/В измеряют напряжение на зажимах исполнительного органа реле всех фаз в нормальном режиме  $U_{нб}$  и при имитации повреждения в зоне защиты  $U_p$  (снятием крышки испытательного блока на соответствующей стороне трансформатора). При этом считается, что дифференциальная защита трансформатора выполнена правильно, если:

$$U_{нб} \leq 0,07 U_{p \max}$$

$$U_{p \max} \leq 0,1 \text{ В для реле РТ-40;}$$

$$U_{p \max} \leq 0,05 \text{ В для реле ЭТ-520.}$$

Дифференциальную защиту трансформатора проверяют уравниваемыми токами, если нет возможности сразу после включения трансформатора создать на него необходимую нагрузку. В этом случае два силовых трансформатора, имеющие регулировку коэффициента трансформации, включают на параллельную

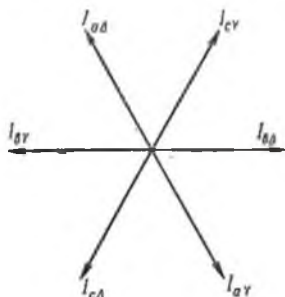
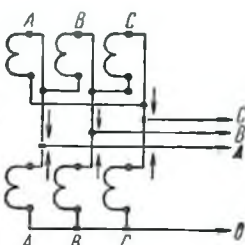
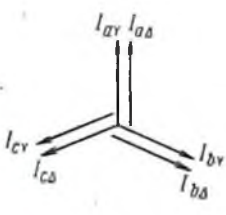
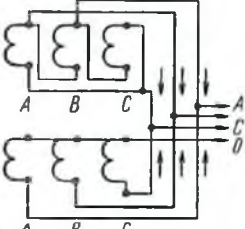
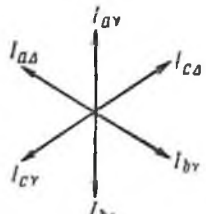
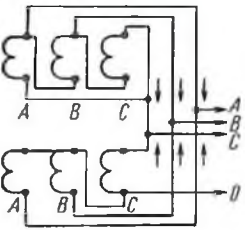
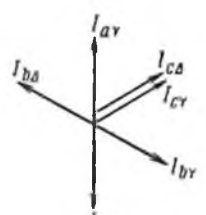
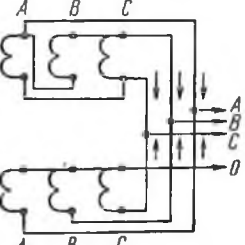
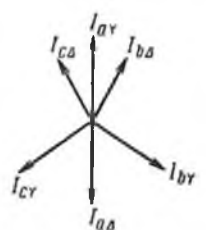


Рис. 1.17. Векторная диаграмма токов при правильном включении токовых цепей дифференциальной защиты двухобмоточного трансформатора

Таблица 1.4

Примеры схем неправильного соединения трансформаторов тока  
дифференциальных защит трансформаторов

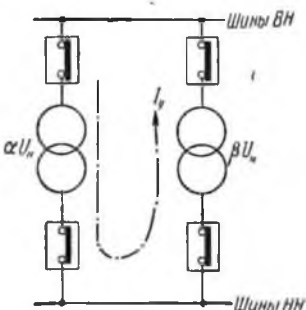
| Схема соединения трансформаторов тока                                               | Векторная диаграмма                                                                 | Допущенная ошибка                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|    |    | <p>Звезда трансформаторов тока собрана с обратной полярностью</p>                |
|    |    | <p>Перекрещены фазы вторичных цепей (a и b) со стороны треугольника</p>          |
|   |   | <p>Трансформатор тока фазы C подключен к звезде с обратной полярностью</p>       |
|  |  | <p>Неправильно собран треугольник (начало фазы B подключено к началу фазы C)</p> |

работу со стороны низшего напряжения (рис. 1.18) с разными коэффициентами трансформации. Между трансформаторами возникает уравнительный ток

$$I_y = \frac{U_1 - U_2}{\frac{e_{k1}U_1}{100I_{H1}} + \frac{e_{k2}U_2}{100I_{H2}}},$$

где  $U_1$  и  $U_2$  — фазные напряжения на выводах трансформаторов на стороне  $НН$  или в долях напряжения  $U_1 = \alpha U_H$  и  $U_2 = \beta U_H$ .

Рис. 1.18. Проверка токовых цепей дифференциальной защиты трансформаторов уравнительным током



Для трансформаторов с одинаковыми  $e_k$  и  $I_H$

$$I_y = \frac{100}{e_k} \frac{\alpha - \beta}{\alpha + \beta} I_H.$$

В этом случае при анализе векторной диаграммы следует иметь в виду, что уравнительный ток будет направлен от трансформатора с меньшим коэффициентом трансформации к трансформатору с большим коэффициентом трансформации. Проверка оперативных цепей дифференциальных защит аналогична проверке оперативных цепей обычных максимальных защит и не отличается какими-либо особенностями.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ И НАЛАДКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И АППАРАТУРЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 6—10 кВ

### § 2.1. МАСЛЯНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

*Выключатель ВМП-10.* В отличие от выключателей старых типов, имевших гибкие перемычки, у выключателей серии ВМП применено роликовое токосъемное устройство для отвода тока от подвижного контакта, полностью закрытое влагонепроницаемым корпусом, и новая конструкция буферов.

Масляный выключатель испытывают в объеме ПУЭ [14]:

выполняют сокращенный анализ трансформаторного масла. Пробу берут из бочки перед заливкой масла в горшки;

проверяют мегомметром 2500 В сопротивление изоляции. При исправной изоляции для выключателей 6—10 кВ оно должно быть не менее 1000 мОм. Сопротивление проверяют непосредственно перед испытанием масляного выключателя повышенным напряжением;

испытывают всю изоляцию повышенным напряжением промышленной частоты по нормам, предусмотренным в ПУЭ;

измеряют переходное сопротивление контактов для всей фазы;

измеряют сопротивление постоянному току обмоток включающей и отключающей катушки;

определяют минимальное напряжение срабатывания привода.

Включающие и отключающие катушки и контакторы должны быть отрегулированы так, чтобы обеспечить надежное включение при напряжении на зажимах привода не более  $0,8U_n$  и отключение при  $0,65U_n$ .

Проверяют при многократном опробовании, предусмотренном в ПУЭ, качество дистанционного включения и отключения выключателя. Испытание считается выполненным, если в процессе опробования не было ни одного отказа;

проверяют наполнение маслом каждого горшка. Спустив немного масла, следят за уровнем в маслоуказателе. Способ проверки будет рассмотрен применительно к каждому типу выключателя;

секундомером измеряют время движения подвижных частей выключателя. Оно зависит от типа выключателя и типа привода. Проводя это испытание, следует руководствоваться нормами ПУЭ

или данными заводских инструкций. Для наиболее распространенных типов выключателей в инструкциях указаны:

| Тип выключателя . . . . .                         | ВМП-10 | ВМГ-10    | ВМП-10П . |
|---------------------------------------------------|--------|-----------|-----------|
| Собственное время включения, с, не более . . . .  | 0,3    | 0,3       | —         |
| Собственное время отключения, с, не более . . . . | 0,1    | 0,12/0,14 | —         |

Для выключателя ВМП-10П со встроенным приводом вместо времени движения подвижных частей инструкция указывает скорость. Так, при включении наибольшая скорость 6 м/с и в момент замыкания контакта — 4,5 м/с, при отключении наибольшая скорость 5 м/с, в момент размыкания контактов —  $3,5 \pm 0,3$  м/с.

Для ВМГ-10 собственное время отключения зависит от типа привода (в числителе — время отключения для ПЭ-11, в знаменателе — для ПП-67).

Конструкция полюса выключателя ВМП-10К показана на рис. 2.1. Благодаря закрытой конструкции токосъемного устройства контроль за отсутствием перекосов и заеданий в подвижных частях токопровода осуществляется медленным включением масляного выключателя от руки. Если движение происходит плавно и подвижный контакт 17 без удара входит в неподвижный контакт 2, это означает, что заводская регулировка не нарушена и разборка полюса выключателя не потребуется.

Масляный демпфер (рис. 2.2, а) должен быть заполнен трансформаторным маслом (объем масла 70 см<sup>3</sup>). Отверстие в поршне не забито, и масло при работе демпфера поступает в надпоршневую полость, а шток 5 и поршень 6 плавно передвигаются от руки.

Высоту штока масляного демпфера измеряют во включенном положении масляного выключателя, когда сварной вал 6 (рис. 2.2, б) находится в положении II. Затем, отключив выключатель, проверяют оставшуюся высоту штока, когда сварной вал 6 находится в положении I и ролик надавливает на шток 5 (см. рис. 2.2, а). Ход штока должен быть в пределах 20—21 мм.

При включенном масляном выключателе между роликом и упорным болтом 4 пружинного демпфера (см. рис. 2.2, б) должен оставаться зазор 0,5—1,5 мм. В отключенном положении масляного выключателя остаточное натяжение пружины демпфера должно составлять 16 кгс.

Полный ход подвижных частей (контактов) при включении масляного выключателя находится в пределах 240—245 мм (рис. 2.3), ход в контактах —  $60^{+3}_{-2}$  мм, угол поворота вала  $87 \pm 2^\circ$ . Для определения полного хода подвижного контакта и хода в контактах необходимо снять верхнюю крышку (см. рис. 2.1), выпнуть маслоотделитель 13 и затем вставить специальный стержень длиной 400 мм в резьбовое отверстие подвижного контакта

масляного выключателя. Делая отметку на стержне в отключенном положении, медленно от руки включают масляный выключатель. В момент касания подвижного контакта 17 с неподвижным 2, что отмечается загоранием сигнальной лампы, делают вторую отметку на стержне, а затем до конца включают масляный выключатель и в этом положении делают третью отметку. Оставшийся свободный ход контактов должен быть не менее 4 мм.

Отключив масляный выключатель, проверяют расстояние между отметками. Полученные размеры должны соответствовать приведенным выше нормам. В отключенном положении свободный ход подвижных частей должен быть не менее 5 мм. Указанные размеры обычно регулируют на заводе. Если при транспортировке они были нарушены или была повреждена изоляционная тяга, всю регулировку необходимо провести заново. В этом случае ход в контактах и крайнее положение подвижного контакта регулируют изоляционной тягой масляного демпфера 5 (см. рис. 2.2, б) и упорного болта 4 пружинного демпфера.

При проверке одновременности замыкания контакта разных фаз разброс не должен превышать 5 мм. Если будут получены большие величины, то, изменяя длину изоляционной тяги, добиваются требуемых результатов, затем проверяют ход масляного демпфера и зазоры в пружинном демпфере и, наконец, недоход подвижного контакта до крайних положений при отключенном и включенном масляном выключателе. Недоход должен быть не менее 4 мм.

Особое внимание следует уделить проверке величины сопротивления постоянному току всего токопровода одной фазы. Если полученные результаты будут отличаться от паспортных данных,

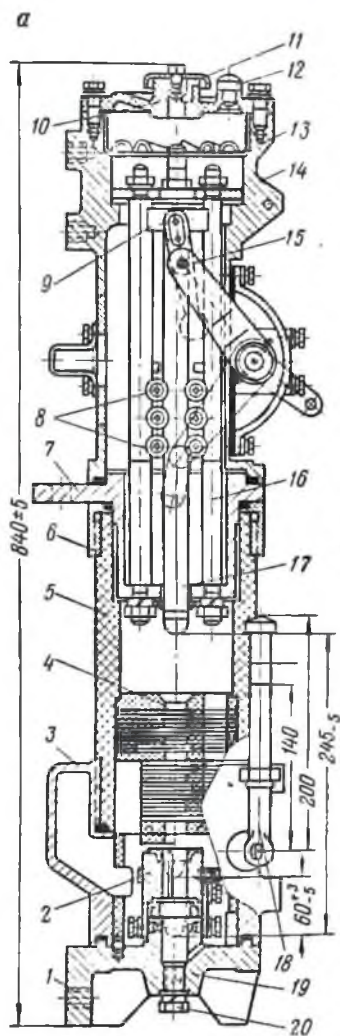
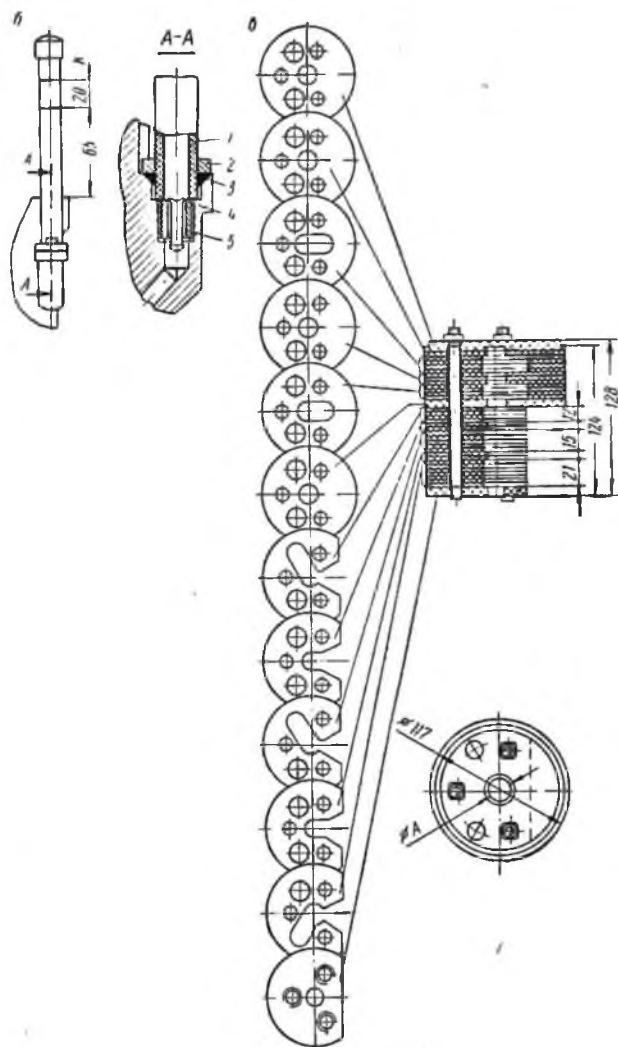


Рис. 2.1. Полное

а — разрез; 1 — нижний вывод; 2 — изоляционный пинлар; 7 — верхний верхняя крышка; 11 — отверстие для указатель; 14 — корпус; 15 — механизм; 19 — шпилька крышка; 20 — 2 — гайка; 3 — кольцо;

а при их отсутствии от величин, приведенных в ПУЭ [14], то необходимо вывернуть пробку 20 (см. рис. 2.1, а) маслоспускного отверстия или снять крышку 19 и, получив доступ к подвижному



выключателя ВМП-10К 600 А:

неподвижный контакт; 3, 6 — фланцы; 4 — гасительная камера; 5 — вывод; 8 — роликовый токоъемник; 9 — направляющая колодка; 10 — вывода газов; 12 — пробка маслосливного отверстия; 13 — маслоотде-  
 16 — направляющий стержень; 17 — подвижный контакт; 18 — масло-  
 пробка маслоспускного отверстия; 6 — маслоуказатель; 1 — стекло;  
 4 — основаше; 5 — клапан; а — дугогасительная камера

контакту, произвести измерение снова, исключив из измеряемой цепи неподвижный контакт. Сравнивая полученные данные с предыдущими, можно выяснить место недоброкачественного контакта, в котором будет увеличенное переходное сопротивление (табл. 2.1).

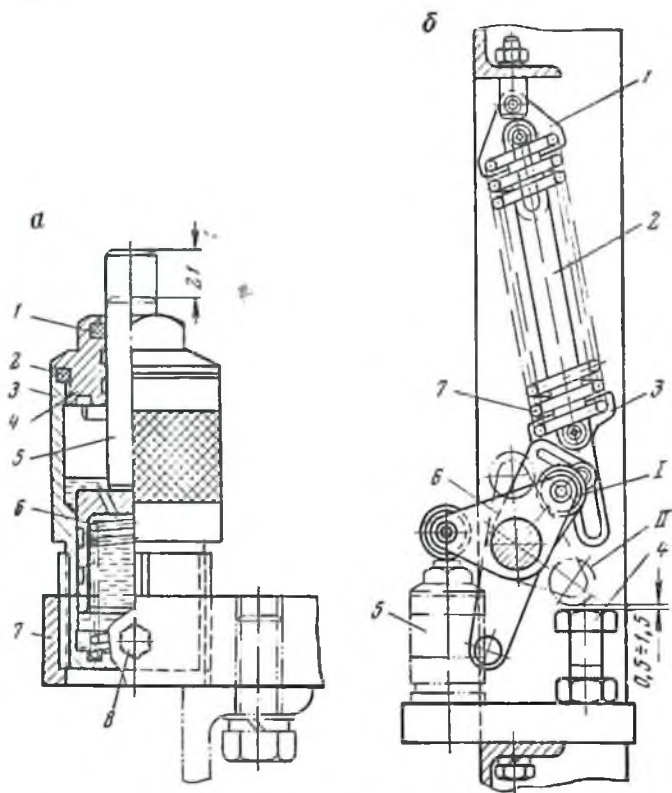


Рис. 2.2. Демпферы.

а — масляный: 1 — уплотнение; 2 — прокладка; 3 — стакан; 4 — крышка; 5 — шток; 6 — поршень; 7 — держатель; 8 — стопорный винт.  
б — пружинный: 1, 3 — пружинодержатель; 2 — планка; 4 — упорный болт; 5 — масляный демпфер; 6 — сварной вал; 7 — пружина отключающая

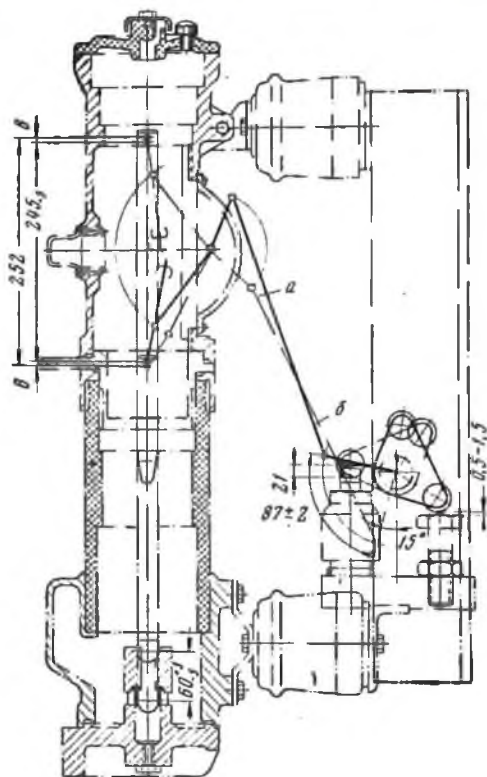
При отключенном масляном выключателе по черточкам, имеющимся на стекле, надо убедиться, что трансформаторное масло залито в требуемом объеме (примерно 1,5 л). Если в процессе транспортировки или монтажа стекло маслоуказателя 18 (см. рис. 2.1, а) было разбито, необходимо вставить новое, выбрав его длину так, чтобы расстояние от центра пробки маслоуказа-

теля до верха колпачка было примерно 200 мм; на стекле нанести риски.

Выключатели ВМГ-10-630-20 и ВМГ-10-1000-20 (соответственно на 630 и 1000 А) конструктивно одинаковы. Они относятся к малообъемным масляным выключателям с обычным расположе-

Рис. 2.3. Кинематическая схема механизма выключателя:

а — отключено; б — включено; в — подход (по мере 4 мм)



нием полюсов, присущим этому типу. Конструктивные особенности состоят в следующем: приводной механизм выключателя (рис. 2.4) состоит из вала 7 с приваренными к нему рычагами 5 и

Таблица 2.1

Предельные величины сопротивления постоянному току контактов масляных выключателей при вводе в эксплуатацию, мкОм

| Тип     | Номинальный ток, А | Роликовый токоприемник | Розеточный контакт | Полное сопротивление фазы |
|---------|--------------------|------------------------|--------------------|---------------------------|
| ВМП-10К | 630                | 22                     | 33                 | 55                        |
|         | 1000               | 16                     | 24                 | 40                        |
|         | 1500               | 10                     | 20                 | 30                        |

8. К малым плечам крайних рычагов прикреплена отключающая пружина 1, а к среднему — буферная пружина 2. Большие плечи этих рычагов 6, выполненные из изоляционного материала, соединены с токоведущими контактными стержнями 10 каждого полюса выключателя. Соединение выполнено серой 9. Между боковым и

средним полюсами (по обе стороны среднего) к валу выключателя приварены двуплечие рычаги 5 с роликами на концах. Они служат для ограничения хода при включении и отключении выключателя. В момент включения один из роликов

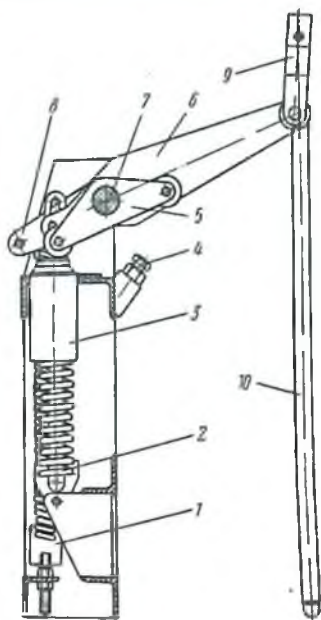


Рис. 2.4. Механизм выключателя

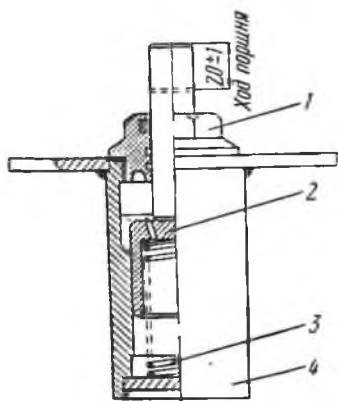


Рис. 2.5. Масляный буфер:

1 — гайка специальная; 2 — поршень;  
3 — пружина; 4 — цилиндр

подходит к упору 4, а при отключении второй ролик перемещает шток масляного буфера 3 (конструкция буфера, показанного на рис. 2.5, имеет много общего с описанным ранее и в пояснениях не пугается).

Привод может соединяться с выключателем с помощью рычага, привариваемого к валу 7 (см. рис. 2.4) в средней или боковой части вала в зависимости от того, какое присоединение привода необходимо (боковое или среднее).

Основной частью полюса является цилиндр (рис. 2.6). Для выключателей на номинальный ток 1000 А они выполнены из латуни, а на 630 А — из стали, но имеют продольный немагнитный шов. Цилиндры крепятся к изоляторам скобками 7. Кроме того, к цилиндру приварен кожух 2 с масляной пробкой 5 и маслоуказателем 3. Кожух является дополнительным расширительным объемом, внутри него расположен маслоотделитель центробежного типа 12.

Образовавшиеся при отключении газа выходят из кожуха через специальные жалюзи 4.

Внутри цилиндра 1 расположены изоляционные цилиндры 8 и 11, между которыми устанавливается дугогасительная камера 9. Изоляция между цилиндрами выключателя при необходимости может быть усилена установкой специальных изоляционных перегородок (например, в малогабаритных КРУ).

Стержень от цилиндра, электрически соединенного с неподвижным розеточным контактом 10, изолируется проходным изолятором 6, укрепленным в верхней части цилиндра. Он состоит из фарфорового изолятора с заармированной крышкой и колпачком. Для повышения внутрибаковой изоляции и увеличения электрической прочности нижней части проходного изолятора внутри него помещена бакелитовая трубка, укрепленная резиновыми деталями. В верхней части изолятора имеется специальное уплотнение.

Дугогасительная камера поперечного масляного дутья выполнена аналогично камере выключателей ВМП-10. Большие токи гасятся дутьем в поперечных каналах, а малые обычно с помощью дутья в «карманах».

Неподвижный розеточный контакт укреплен на нижней крышке, его конструкция тоже аналогична с контактом у ВМП-10.

Проверяя и налаживая выключатель, необходимо:

выяснить вертикальность подвески рамы по отвесу и качество ее крепления к верхним и нижним угольникам (отсутствие зазоров и надежная затяжка гаек);

измерить расстояние между осями цилиндров; оно должно быть равно  $250 \pm 1$  мм. Если будут обнаружены отклонения или перекосы, необходимо их устранить, перемещая цилиндры совместно с изоляторамп, к которым они крепятся;

проверить по уровню количество залитого трансформаторного масла (примерно 1,8 л) и в течение часа убедиться в отсутствии течи через уплотнения маслоуказателя и нижней крышки;

убедиться в наличии масла в масляном демпфере и при необходимости долить. В этом случае вывинтить крышку 4 (см. рис.2.2), вынуть поршень 6 и пружину. Уровень масла от дна стакана 3

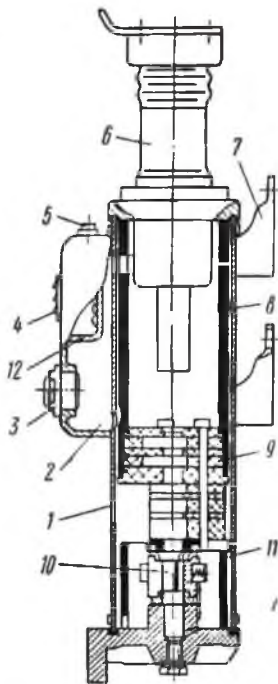


Рис. 2.6. Цилиндр одного полюса (в сборе)

должен составить 45 мм. Долив масло, собрать буфер и ручную опробовать его работу. Шток должен перемещаться плавно, без рывков и заеданий;

проверить положение поворотного рычага 8 (см. рис. 2.4) относительно горизонтальной плоскости. При отключенном выключателе (рычаг в верхнем положении) угол между осью рычага и горизонтальной плоскостью должен составлять  $22^{\circ}80' \pm 1^{\circ}30'$ .

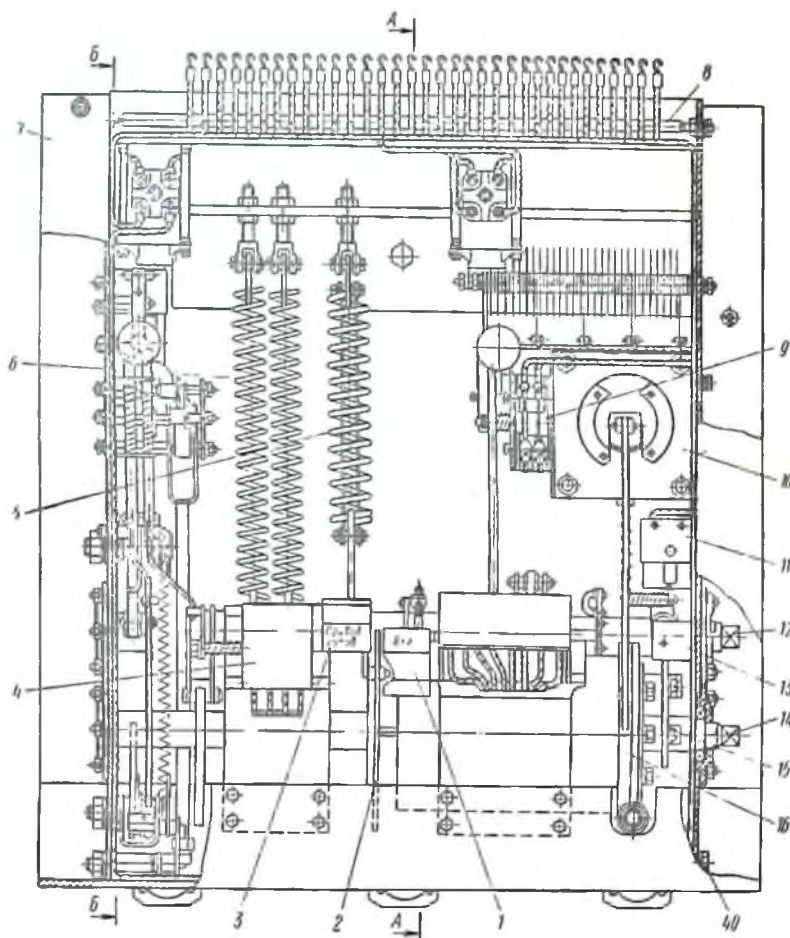


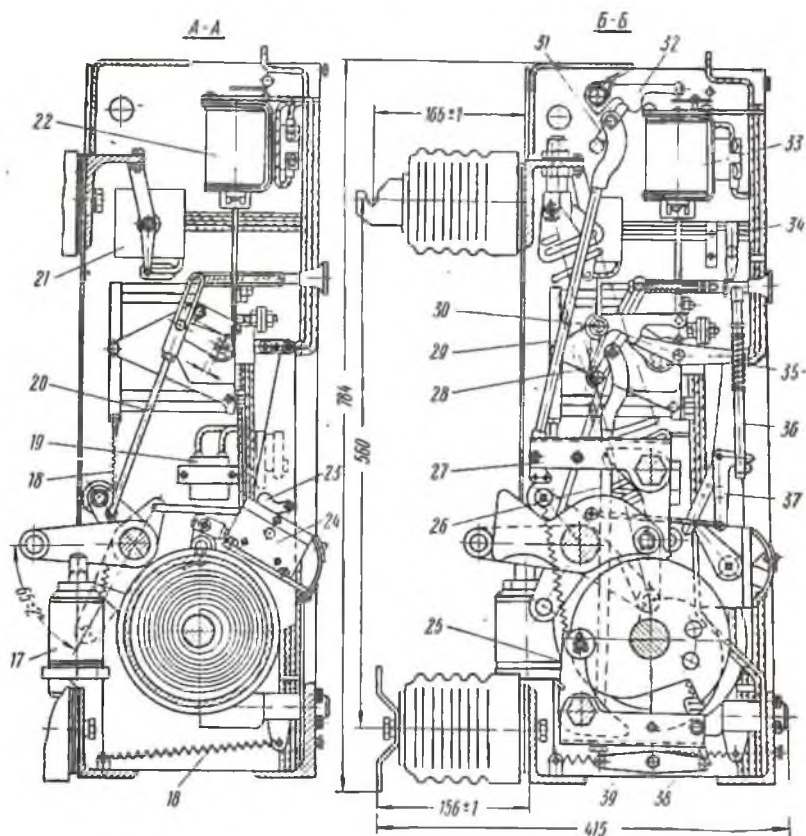
Рис. 2.7. Пружинный

1 — указание положения выключателя; 2 — диск; 3 — указатель положения привода; 4 — пружина; 5 — рамка; 6 — реле; 7 — аварийный вал; 8 — аварийные блок-контакты ВКА; 9 — электрический буфер; 10 — вал привода; 11 — кулачок; 12 — обгонная муфта; 13 — масляный мильер; 14 — электромагнит дистанционного отключения; 15 — кулачок; 16 — сигнал; 17 — защелка; 18, 19 — защелки; 20—22, 23 — собачки; 24 — электромагнит дистанционного включения; 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 — собачки; 34 — электромагнит дистанционного отключения; 35 — электромагнит дистанционного включения; 36 — электромагнит дистанционного отключения; 37 — электромагнит дистанционного отключения; 38 — электромагнит дистанционного отключения; 39 — электромагнит дистанционного отключения; 40 — электромагнит дистанционного отключения.

Угол поворота рычага от положения «Отключено» до «Включено» должен быть  $45^\circ$ ;

проверить и отрегулировать длину тяги дистанционной передачи так, чтобы после посадки привода на защелку (положение «Включено») зазор между роликом рычага 5 и упорным болтом 4 (см. рис. 2.4) был в пределах 0,5—1,5 мм, а расстояние между нижней плоскостью колодки контактного стержня и головкой болта на верхнем колпачке проходного изолятора составляло 25—30 мм;

измерить сопротивление постоянному току токопривода одного полюса при полностью включенном выключателе. Для



построенный привод:

4 — блок-контакты положения пружины БКП; 5 — буферная пружина; 6 — отключающая тормозная заводки рабочих пружин; 11 — прерыватель; 12 — вал выключателя; 13 — пружина; 18 — возвратная пружина; 19 — конденсатор; 20, 26, 29, 39 — тяги; 21 — выпрямляющие блок-контакты типа КСА-8; 25 — устройство включения; 27 — устройство отключения; 34 — блокировочный контакт; 36, 37 — блокировки; 39 — рычаг; 40 — болт заземления

выключателей на 630 А оно должно быть не более 75 мкОм, а для 1000 А — не более 70 мкОм. Если оно выше указанных величин, найти место плохого контакта (аналогично описанному ранее для ВМП-10);

измерить скоростные характеристики выключателя и сравнить с указанными ранее данными;

проверить одновременность включения контактов каждого полюса;

проверить все гибкие связи и убедиться в чистоте контактных соединений. Необходимо иметь в виду, что выводы выключателя имеют гальваническое покрытие, поэтому зачистка их контактных поверхностей напильником или наждачной бумагой недопустима;

отрегулировать длину контактного стержня так, чтобы ход в контактах был в пределах 40—50 мм, а разновременность включения не превышала 5 мм. Регулируя длину стержня, необходимо проследить, чтобы его резьба была ввинчена минимум на 20 мм, а контргайки были надежно затянуты после окончания работы, полный ход контактного стержня  $210 \pm 5$  мм, усилие вытягивания контактного стержня из розетки не более 20 кгс, ход масляного буфера  $20 \pm 1$  мм, а наибольший момент на валу выключателя  $45 \pm 1$  кгс·м.

**Выключатель ВМП-10П.** В отличие от всех остальных выключателей с малым объемом масла, поставляется в сборе и имеет встроенный пружинный привод, который предназначен для автоматического, дистанционного и ручного управления. Для этой цели привод снабжен электромагнитами управления и релейным блоком.

Полюса выключателей ВМП-10П и ВМП-10ПТ конструктивно весьма близки к полюсам выключателей ВМП-10К. Условия их паладки практически аналогичны, поэтому отдельного описания полюсов не приводим. Конструкция контактов, их общий ход и ход в контактах одинаковы с соответствующими контактами выключателей ВМП-10К. То же можно сказать и относительно розеточных контактов.

Существенное отличие имеет встроенный пружинный привод. Его общая схема показана на рис. 2.7, а кинематическая — на рис. 2.8. Пружинный привод, встроенный в раму 7 (см. рис. 2.7), состоит из вала привода, заводного устройства, механизма включения и отключения, электромеханических 36 и механических блокировок 37.

В заводное устройство входят электромагнит заводки рабочих пружин 10, связанный с рычагом с обгонной муфтой 16, прерыватель 11 с кулачком 23, возвратные пружины 18, выпрямитель 21, блокировочный контакт 34. Для уменьшения искрения контакты прерывателя шунтируются конденсатором 19 типа МБГП-1 (емкость 2 мкФ, напряжение 1500 В).

На стенке рамы 7 размещены механизмы включения и отключения. Механизм включения состоит из запорного устройства

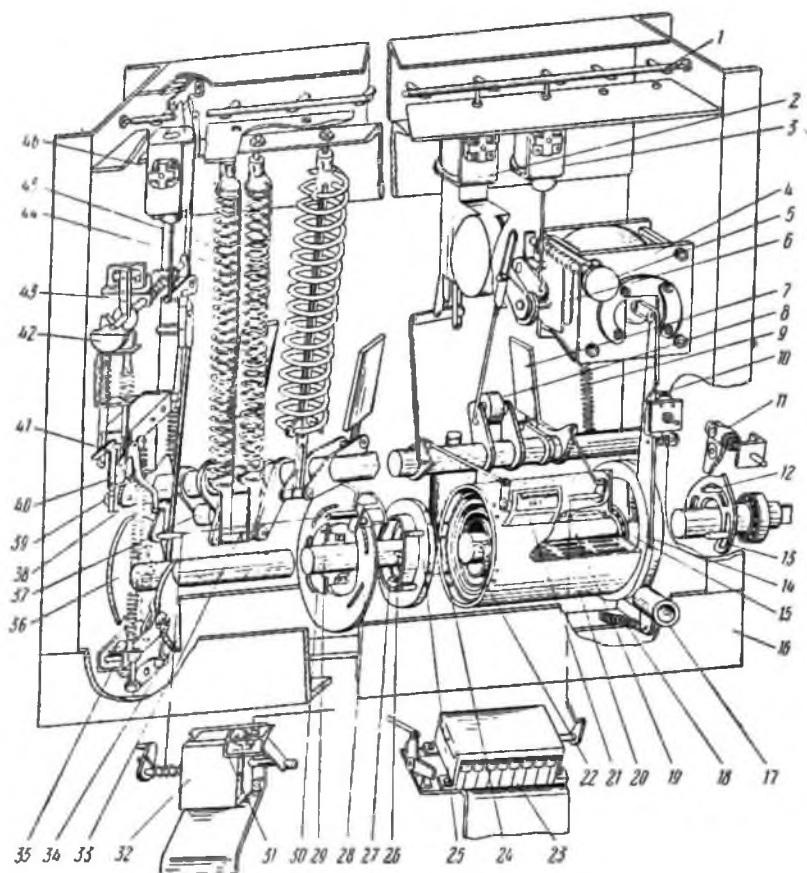


Рис. 2.8. Кинематическая схема встроенного пружинного привода:

1 — реечный вал; 2 — реле минимального напряжения с выдержкой времени; 3 — электромагнит дистанционного отключения; 4 — электромагнит заводки рабочих пружин; 5 — кнопка ручного отключения; 6 — аварийные блок-контакты БКА; 7 — изоляционная тяга; 8 — ролик; 9 — возвратная пружина; 10 — прерыватель; 11 — пружинный буфер; 12 — шпилька; 13 — кулачок; 14 — обгонная муфта; 15 — внутренний ободья; 16 — рама; 17 — рычаг ручной заводки; 18 — возвратная пружина; 19 — вал привода; 20 — корпус барабана; 21 — указатель положения выключателя; 22 — рабочая пружина; 23 — сигнальные блок-контакты типа КСА-8; 24 — масляный буфер; 25 — крышка барабана; 26 — упор крышки; 27 — резиновый буфер; 28 — диск; 29 — ограничитель вала привода; 30 — полубарабан; 31 — указатель положения привода; 32 — блок-контакты положения пружин БКП; 33 — вал выключателя; 34 — кулак; 35 — запирающее устройство выключения; 36 — рычаг; 37 — ролик; 38 — рычаг вала выключателя; 39 — запирающее устройство отключения; 40, 41 — механические блокировки; 42 — кнопка ручного выключения; 43 — блокировочный контакт; 44 — буферная пружина; 45 — отключающая пружина; 46 — электромагнит дистанционного выключения.

включення 25, связанного тягами 26, 38 и рычагом 39 с защелкой 28, удерживаемой в замкнутом положении собачкой 30. В механизме отключения входит устройство отключения 27, связанное с защелкой 31, которая удерживается в замкнутом положении собачкой 32.

Работу механизмов включения и отключения можно проследить по табл. 2.2.

В приводе предусмотрено принудительное запираание механизмов включения и отключения в процессе операций по включению и отключению. Это обеспечивается выступом на собачке, по которому будет ударять защелка при окончании процесса включения или отключения, возвращая принудительно собачку в исходное положение (табл. 2.3), на ней показаны электромеханические блокировки.

В верхней части привода установлен релейный блок, состоящий из электромагнитов дистанционного отключения 22 (см. рис. 2.7) и включения 33, релейного вала 8 и реле.

К валу выключателя 12 крепятся отключающая 6 и буферная 5 пружины.

К раме 7 кроме описанных ранее узлов крепятся:

буфер 17, его конструкция аналогична с конструкцией буфера у выключателя ВМП-10К;

с помощью кронштейнов блок-контакты типа КСА-8 с указателем положения 1 и блок-контакты положения пружин БКП-4 с указателем положения 3 привода.

Вал привода с барабаном показан на рис. 2.9, а. Рабочие пружины 11 одним концом крепятся в пазу вала, а другой их конец закреплен упором 10. Барабан вместе с крышкой 4 насажен на подшипник. С одной стороны барабана на цилиндрических пятаках и шпильках прикреплена внутренняя обойма 13 обгонной муфты 16 (см. рис. 2.7), внутри которой помещен второй подшипник. В обойму вставлены толкатели 1 (см. рис. 2.9, а). В процессе работы ролики обгонной муфты заклиниваются между внутренней и одной из наружных обойм 12. С другой стороны к барабану крепится диск 3, предназначенный для регулирования угла закручивания пружин. В полубарабане помещается резиновый буфер 9, служащий для смягчения ударов при включении выключателя. Рычаг заводки 15 связан с электромагнитом 10 заводки рабочих пружин (см. рис. 2.7).

Электромеханические блокировки, показанные в табл. 2.3, предназначены:

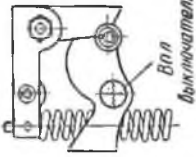
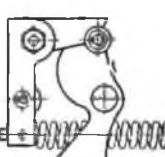
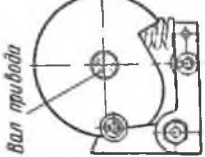
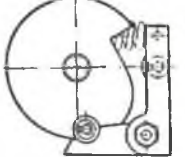
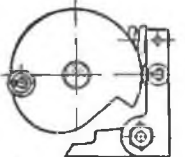
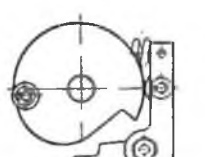
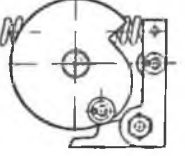
для предотвращения включения привода при включенном масляном выключателе;

для препятствия включению масляного выключателя при не полностью заведенных пружинах.

Первая связана с положением вала выключателя с помощью блокировки и контактов КСА-8. Вторая связана с блок-контактами БКП. Принцип их работы ясен из табл. 2.3.

Таблица 2.2

Работа механизмов включения и отключения

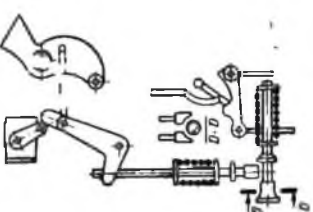
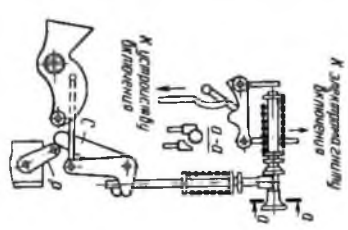
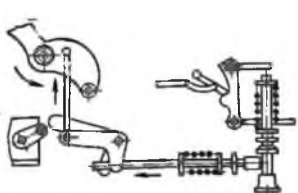
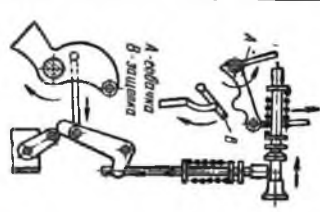
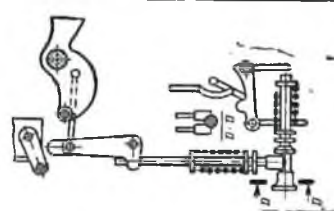
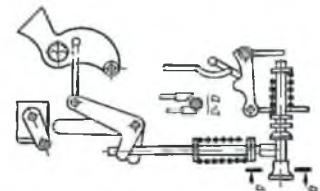
| Состояние<br>выключателя и<br>привода | «Выключатель, вкл.»<br>«Привод готов»                                               | «Выключатель<br>откл.»<br>«Привод готов»                                           | «Выключатель, вкл.»<br>«Привод не готов»                                          | «Выключатель<br>выключен»                                                         | Отключение<br>выключателя                                                         |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Положения устройства<br>отключающего  |  |  |  |  |  |
| Положения устройства<br>включения     |  |  |  |  |  |

Виды электромеханической блокировки

«Выключатель вкл.»  
«Привод готов»

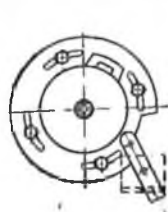
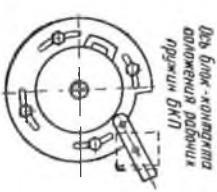
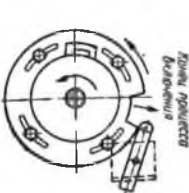
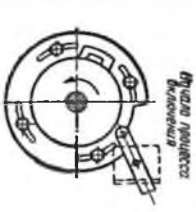
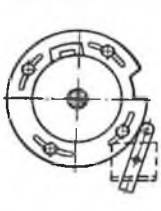
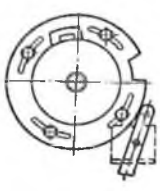
«Выключатель откл.»  
«Привод готов»

«Выключатель откл.»  
«Привод не готов»



Электромеханическая блокировка, не позволяющая включить привод при включенном выключателе. При включенном выключателе нельзя нажать кнопку ручного включения. Питание не может быть подано на катушку электромагнита включения, так как разомкнуты блок-контакты типа КСА-8 (в таблице не показаны)

Электромеханическая блокировка, не позволяющая включить выключатель при не полностью введенных рабочих пружинах привода. В этом случае нельзя включить выключатель, так как рычаг Р не отжал рычаг С (состояние выключателя: «Выключатель вкл.», «Привод готов»)



а

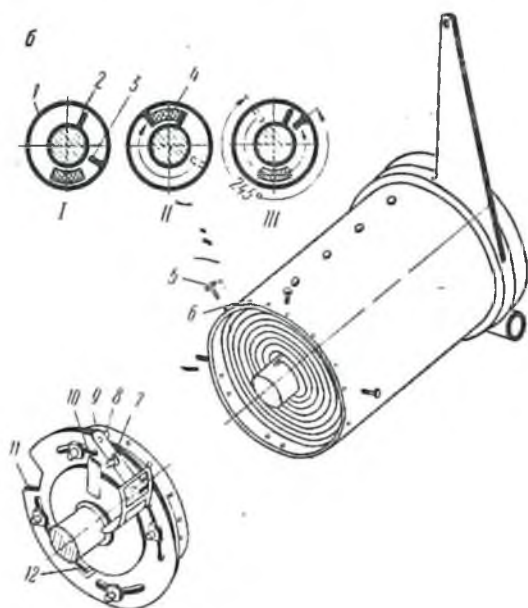
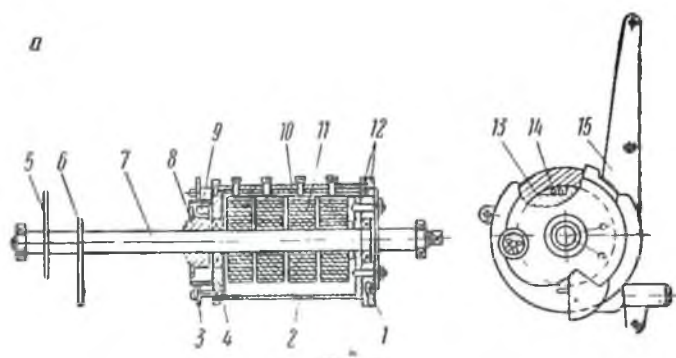


Рис. 2.9. Барабан привода:

а — вал привода с барабаном: 1 — толкатель; 2 — барабан; 3 — диск; 4 — крышка; 5 — рычаг; 6 — кулак; 7 — вал; 8 — полубарабан; 9 — резиновый буфер; 10 — упор; 11 — рабочие пружины; 12 — наружная обойма; 13 — внутренняя обойма; 14 — ролик; 15 — рычаг заводки; б — барабан: 1 — крышка; 2 — упор вала; 3 — упор крышки; 4 — резиновый буфер; 5 — болт; 6 — корпус барабана; 7 — вал блок-контактов БКП; 8 — ролик; 9 — рычаг; 10 — ограничитель вала привода; 11 — диск; 12 — ограничитель крышки барабана; I — положение упоров после сборки барабана; II — положение упора после поворота крышки пружин барабана; III — положение упоров после закручивания пружины на угол  $245^\circ$

**Работа привода.** Для описания работы целесообразно воспользоваться кинематической схемой, показанной на рис. 2.8. Она представлена в положении, когда масляный выключатель включен, а привод заведен. Отключение происходит при подаче импульса на электромагнит дистанционного отключения 3 или на один из элементов релейного блока, а также при нажатии кнопки ручного отключения 5. В этом случае запорное устройство отключения 39 освобождает вал 33 выключателя, который под воздействием отключающих пружин 45 и буферной пружины 44 отключает выключатель. При этом ролик 8 вала выключателя садится на масляный буфер 24.

При подаче напряжения на электромагнит дистанционного включения 46 или при нажатии кнопки ручного включения 42 срабатывает запорное устройство включения 35, освобождая вал 19 привода. Под воздействием заведенных рабочих пружин 22 вал привода поворачивается вместе с валом выключателя, включая масляный выключатель. Угол поворота вала выключателя  $65^\circ \pm 2^\circ$ . Запорное устройство удерживает вал выключателя во включенном положении. В конце процесса включения выключателя вал привода, вращаясь вместе с барабаном, переключает блок-контакты БКП 32, благодаря чему замыкается цепь питания электромагнита 4, служащего для заводки пружин.

Указатель положения привода 31, жестко связанный с валом блок-контактов БКП, переходит из положения «Привод готов» в положение «Привод не готов». При включении указатель положения выключателя 21 переходит из положения «Выключатель откл.» в положение «Выключатель вкл.». Одновременно происходит переключение блок-контактов КСА-8.

Ограничитель вала привода 29, приваренный к полубарабану 30, через резиновый буфер 27 давит на упор крышки 26 и поворачивает корпус барабана 20 с диском 28. При повороте диск перемещает рычаг, укрепленный на валу блок-контактов БКП, включая цепь электромагнита заводки рабочих пружин. Пружинный буфер 11 служит для торможения вала привода при окончании процесса включения и дает возможность рабочей кромке рычага 36 соскользнуть с ролика запорного устройства включения 35, обеспечивая надежное срабатывание устройства при следующей заводке рабочих пружин.

Передача движения от вала выключателя на подвижные контакты полюсов производится посредством изоляционных тяг, один концы которых крепятся к валу выключателя, а другие — к выпрямляющим механизмам полюсов.

Электромагнит заводки рабочих пружин 4, получив питание через замкнутые блок-контакты БКП и блокировочный контакт 43, обгонной муфтой 14 осуществляет заводку рабочих пружин привода. Один конец рабочих пружин жестко связан с валом привода, а другой конец через свободно сидящий на валу привода корпус барабана связан с внутренней обоймой 15 обгонной муфты

14. Блокпроводный контакт размыкается только при нажатии кнопки ручного управления.

Для замыкания и размыкания цепи питания электромагнита в процессе заводки рабочих пружин служит прерыватель 10. Возвратная пружина 9 в момент размыкания цепи электромагнита прерывателем возвращает обгонную муфту и сердечник электромагнита в исходное положение и замыкает цепь питания электромагнита.

Для заводки рабочих пружин вручную служит рычаг ручной заводки 17. Возвратная пружина 18 предотвращает проскальзывание обгонной муфты при заводке рабочих пружин. В процессе заводки рабочих пружин вал привода становится на запорное устройство включения 35. После окончания процесса заводки рабочих пружин срабатывают блок-контакты БКП и разрывают цепь питания электромагнита. Одновременно освобождается механическая блокировка 40, не дававшая возможности включить выключатель при не полностью заведенных пружинах привода. Механическая блокировка 41 не позволяет срабатывать приводу при включенном выключателе и не полностью заведенных рабочих пружинах.

Таким образом, после включения выключателя рабочие пружины привода заводятся и остаются в этом положении до следующего отключения и включения. Работа блок-контактов КСА-8 и БКА имеет типовую программу, но может изменяться в соответствии с требованиями проекта.

*Разборка привода.* При необходимости ее производят в следующем порядке:

отсоединяют провода от блок-контактов положения пружин БКП 32 и сигнальных блок-контактов КСА-8 23. Отсоединяют тяги, связывающие блок-контакты КСА-8 и указатель положения выключателя 21 с валом выключателя 33;

снимают пружинный буфер 11 и вывертывают шпильки 12, на которых крепится кулачок 13;

снимают предварительный натяг с рабочих пружин 22. Для этого отсоединяют крышку барабана 25 от корпуса барабана 20, придерживая вал привода 19 рычагом ручного включения;

снимают корпус подшипников с вала привода 19;

снимают запорные устройства включения 35 и отключения 39;

снимают вал привода 19, отсоединив обгонную муфту 14 от электромагнита 4, и снимают возвратные пружины 9 и 18; разбирают обгонную муфту 14;

снимают корпус барабана 20 с рабочими пружинами 22;

проверить состояние резинового буфера 27 и пружин 22;

очищают и тщательно проверяют состояние рабочих поверхностей трущихся деталей при ревизии полюса и элементов привода; проверяют исправность масляного буфера;

производят ревизию всех реле и электромагнитов.

Сборку привода производят в обратном порядке.

Объем осмотра и регулировки полюсов совершенно аналогичен подобным операциям во время наладки масляных выключателей ВМП-10К. Величины допусков тоже все остаются прежние. Отличие составляет лишь регулирование выключателя, связанное с приводом, и регулирование самого привода.

Завод в своей инструкции рекомендует следующее:

фиксировать отключенное положение масляным буфером (шток буфера упирается в ролик на валу выключателя). После включения ход штока должен быть равен 21 мм;

отрегулировать при помощи тяги 20 (см. рис. 2.7) зазор в 1 мм между рычагами, связанными с аварийными блок-контактами БКА 9;

отрегулировать зазор между роликом 37 (см. рис. 2.8) вала выключателя 33 и кулаком 34 вала привода в пределах 0,5—1 мм. Регулировку проводят при отключенном положении выключателя и застопоренном положении вала привода 19 собачкой запорного устройства включения 35:

проверить усилие на релейном валу 8 (см. рис. 2.7), оно не должно превышать 0,5 кгс на плече 35 мм. При этом заход собачки 32 за защелку 31 должен быть не менее 2,5 мм;

установить кулачок 15 так, чтобы его рабочая поверхность кромки вошла в зацепление с собачкой пружинного буфера 13 после выхода на 10—15° рычага БКП на наружную поверхность диска 2 вала привода 14. Ролик рычага вала привода при включении не должен садиться на собачку устройства включения 25. Для этого при необходимости под пружину буфера 13 разрешается подкладывать одну-две шайбы;

отрегулировать тягами 29 и 26 зазор между рабочими кромками защелок 31 и 28 и рабочими кромками собачек 32 и 30. Он должен быть равным  $4^{+0,8}_{-0,8}$  мм (ролики устройств включения 25 и отключения 27 находятся на той части поверхности рычагов вала привода 14 и вала выключателя 12, которая имеет наибольший радиус). При этом оси защелок находятся на нижних кромках пазов вилок соответствующих тяг;

отжать блокпроводной собачкой 35 защелку 28 так, чтобы зазор между рабочими кромками защелки 28 и собачки 30 был не менее 1 мм;

отрегулировать указатель положения выключателя так, чтобы его табличка находилась на одном уровне с табличкой указателя положения привода 3;

отрегулировать прерыватель 11 винтом так, чтобы зазор между его контактами и контактами контактодержателя был не менее 8 мм;

отрегулировать зазор между угольником штока и зубом собачки в реле минимального напряжения на величину 1—1,5 мм;

проверить величину хода подвижного контакта выключателя: свободный ход, ход в контактах и недоходы до упоров в верхнем

(отключенном) и выключенном положении подвижного контакта. Все проверяемые величины должны находиться в допусках, указанных ранее.

Все перечисленные рекомендации относятся к случаям, когда первоначальная регулировка выключателя была выполнена на заводе, не нарушалась во время транспортировки и монтажа, а главное, выключатель был выполнен без отступлений от проектных данных. Однако практика наладки и сведения, приводимые в литературе, показывают, что эти выключатели (точнее приводы с реле) имеют существенные дефекты, из-за которых возникают самопроизвольные включения, отказы в работе и большие отклонения от заданных установок. Особенно часто возникают самопроизвольные включения.

При ручном включении привода, если держать слишком долго кнопку ручного включения 42 (см. рис. 2.8), запорное устройство включения 35 не сработает и выключатель отключится. При исправном приводе это не вызовет никаких последствий, так как должно сработать запорное устройство включения 39 и запереть вал привода до новой заводки пружин. Однако если в приводе рабочие пружины 22 были натянуты на максимальное усилие, то в момент происшедшего включения вал привода может повернуться на угол больше  $67^\circ$  и вывести из строя запорное устройство отключения вала привода 39. В этом случае после отключения привода и выключателя начнется заводка пружин, а так как вал привода ничего не удерживает, то одновременно он начнет поворачиваться, осуществляя медленное включение выключателя. Полного включения в этих условиях произойти не сможет из-за малого усилия, развиваемого пружинами привода в момент подхода подвижного контакта к неподвижному.

Если такое включение происходит на к. з. или даже при пуске мощного двигателя, например двигателя подъемной машины мощностью 7—8 мВ·А, то пусковой ток двигателя приведет к оплавлению контактов, а иногда и выходу выключателя из строя.

Можно проверить отсутствие подобных явлений, осуществляя обычное включение выключателя от ручной кнопки. В этом случае необходимо, нажав кнопку, держать ее до тех пор, пока не остановится вал привода после заводки пружин, и одновременно контролировать, будет ли повторное включение выключателя. Если оно будет, необходимо или ослабить предварительное натяжение пружин привода, или отказаться от использования ручной кнопки вообще. Эти два условия диктуются рекомендациями завода по регулированию натяжения пружин привода. Для того чтобы выяснить возможность использования этих условий, следует рассмотреть подробнее регулирование пружин привода, рекомендуемое заводом, сделав предварительно несколько общих замечаний:

усилие, развиваемое пружинами включения на валу привода, должно обеспечить включение масляного выключателя на ток

к. 8., предусмотренный для данного типа выключателя (допустимая разрывная мощность выключателя):

рассчитывая это усилие, учитывают противодействующее усилие от отключающих пружин выключателя, вредные сопротивления, возникающие в процессе включения, и определенный процент побочных явлений, например повышение сил сопротивления до возникновения заеданий или увеличенные жидкости отключающих пружин, их сильное предварительное натяжение и т. д.;

работе включающих пружин привода помогают силы инерции от масс движущихся частей привода.

В инструкции завода нет указаний на учет сил вредных сопротивлений, сил сопротивлений от побочных явлений и от инерции. Привод является встроенным в выключатель определенного типа, кроме того, имеется рекомендация о предварительном натяге пружин при повороте барабана 20 на  $105^\circ$  и указание, что при заводке пружин на  $245^\circ$  этот предварительный натяг не учитывается. Очевидно, при проверке наличия самопроизвольных включений и регулировке привода для их предотвращения приходится исходить из этих положений.

Если выявлены самопроизвольные включения, то прежде всего следует проверить предварительный угол закручивания пружин. Для этого на незаведенных пружинах отвинчивают винты, крепящие крышку барабана, и сдвигают ее в сторону. Снимая вал привода с запорного устройства, его медленно поворачивают, проверяя угол закручивания пружин. Если он равен или меньше  $105^\circ$ , следует отказаться от использования кнопки ручного включения, а если больше, то отрегулировать натяжение пружин заново. Для этого выполняют следующие операции:

запирают вал привода запорным устройством включения 35 (см. рис. 2.8), фиксируя его положение;

поворачивают крышку 1 барабана (см. рис. 2.9, б) до тех пор, пока упор 3 крышки не подожмет резиновый буфер (положение 11), и оставляют ее в этом положении;

поворачивая корпус барабана на  $105^\circ$ , создают предварительный натяг пружин, его можно регулировать ступенчато через  $15^\circ$ . Закрывают корпус барабана крышкой и крепят ее шестью винтами;

закручивают пружины вручную до тех пор, пока ограничитель 12 крышки барабана не упрется в ограничитель 10 вала привода;

в этом положении ролик 8, укрепленный на рычаге 9 вала 7 блок-контактов БКП, должен провалиться в вырез диска 11. Вал блок-контактов при падении ролика поворачивается и замыкает контакты в цепи электромагнита заводки рабочих пружин, т. е. при заводке пружин электромагнитом момент провала ролика является сигналом на отключение электромагнита и прекращение заводки пружин;

(отключенном) и нижнем включенном положении подвижного контакта. Все проверяемые величины должны находиться в допусках, указанных ранее.

Все перечисленные рекомендации относятся к случаям, когда первоначальная регулировка выключателя была выполнена на заводе, не нарушалась во время транспортировки и монтажа, а главное, выключатель был выполнен без отступлений от проектных данных. Однако практика наладки и сведения, приводимые в литературе, показывают, что эти выключатели (точнее приводы в реле) имеют существенные дефекты, из-за которых возникают самопроизвольные включения, отказы в работе и большие отклонения от заданных установок. Особенно часто возникают самопроизвольные включения.

При ручном включении привода, если держать слишком долго кнопку ручного включения 42 (см. рис. 2.8), запорное устройство включения 35 не сработает и выключатель отключится. При исправном приводе это не вызовет никаких последствий, так как должно сработать запорное устройство выключения 39 и запереть вал привода до новой заводки пружин. Однако если в приводе рабочие пружины 22 были натянуты на максимальное усилие, то в момент происшедшего включения вал привода может повернуться на угол больше  $67^\circ$  и вывести из строя запорное устройство отключения вала привода 39. В этом случае после отключения привода и выключателя начнется заводка пружин, а так как вал привода ничего не удерживает, то одновременно он начнет поворачиваться, осуществляя медленное включение выключателя. Полного включения в этих условиях произойти не сможет из-за малого усилия, развиваемого пружинами привода в момент подхода подвижного контакта к неподвижному.

Если такое включение происходит на к. з. или даже при пуске мощного двигателя, например двигателя подъемной машины мощностью 7—8 мВ·А, то пусковой ток двигателя приведет к оплавлению контактов, а иногда и выходу выключателя из строя.

Можно проверить отсутствие подобных явлений, осуществляя обычное включение выключателя от ручной кнопки. В этом случае необходимо, нажав кнопку, держать ее до тех пор, пока не остановится вал привода после заводки пружин, и одновременно контролировать, будет ли повторное включение выключателя. Если оно будет, необходимо или ослабить предварительное натяжение пружин привода, или отказаться от использования ручной кнопки вообще. Эти два условия диктуются рекомендациями завода по регулированию натяжения пружин привода. Для того чтобы выяснить возможность использования этих условий, следует рассмотреть подробнее регулирование пружин привода, рекомендуемое заводом, сделав предварительно несколько общих замечаний:

усилие, развиваемое пружинами включения на валу привода, должно обеспечить включение масляного выключателя на ток

к. з., предусмотренный для данного типа выключателя (допустимая разрывная мощность выключателя):

рассчитывая это усилие, учитывают противодействующее усилие от отключающих пружин выключателя, вредные сопротивления, возникающие в процессе включения, и определенный процент побочных явлений, например повышение сил сопротивления до возникновения заеданий или увеличенные жесткости отключающих пружин, их сильное предварительное натяжение и т. д.;

работе включающих пружин привода помогают силы инерции от масс движущихся частей привода.

В инструкции завода нет указаний на учет сил вредных сопротивлений, сил сопротивлений от побочных явлений и от инерции. Привод является встроенным в выключатель определенного типа, кроме того, имеется рекомендация о предварительном натяге пружин при повороте барабана  $20$  на  $105^\circ$  и указание, что при заводке пружин на  $245^\circ$  этот предварительный натяг не учитывается. Очевидно, при проверке наличия самопроизвольных включений и регулировке привода для их предотвращения приходится исходить из этих положений.

Если выявлены самопроизвольные включения, то прежде всего следует проверить предварительный угол закручивания пружин. Для этого на незаведенных пружинах отвинчивают винты, крепящие крышку барабана, и сдвигают ее в сторону. Снимая вал привода с запорного устройства, его медленно поворачивают, проверяя угол закручивания пружин. Если он равен или меньше  $105^\circ$ , следует отказаться от использования кнопки ручного включения, а если больше, то отрегулировать натяжение пружин заново. Для этого выполняют следующие операции:

запирают вал привода запорным устройством включения  $35$  (см. рис. 2.8), фиксируя его положение;

поворачивают крышку  $1$  барабана (см. рис. 2.9, б) до тех пор, пока упор  $3$  крышки не подожмет резиновый буфер (положение  $II$ ), и оставляют ее в этом положении;

поворачивая корпус барабана на  $105^\circ$ , создают предварительный натяг пружин, его можно регулировать ступенчато через  $15^\circ$ . Закрывают корпус барабана крышкой и крепят ее шестью винтами;

закручивают пружины вручную до тех пор, пока ограничитель  $12$  крышки барабана не упрется в ограничитель  $10$  вала привода;

в этом положении ролик  $8$ , укрепленный на рычаге  $9$  вала  $7$  блок-контактов БКП, должен провалиться в вырез диска  $11$ . Вал блок-контактов при падении ролика поворачивается в размыкает контакты в цепи электромагнита заводки рабочих пружин, т. е. при заводке пружин электромагнитом момент провала ролика является сигналом на отключение электромагнита и прекращение заводки пружин;

от начала закручивания до момента соприкосновения упоров поворачивают крышку барабана на  $25^\circ$  (положение III), осуществляя закручивание рабочих пружин на этот угол (без учета угла предварительного закручивания пружин);

снова повторяют включение масляного выключателя вручную, осуществив заводку пружин на заданный угол и контролируя отсутствие самопроизвольного включения.

Следует отметить, что кроме описанной причины, самопроизвольное включение может произойти из-за плохого зацепления между рычагом и защелкой запорного устройства отключения 39 (см. рис. 2.8) при дистанционном управлении приводом, хотя и в этом случае первоначальной причиной явится слишком большое натяжение пружин, вызывающее поворот вала привода на больший угол, чем это предусмотрено для нормальных условий.

Самопроизвольные включения — отключения (пулеметный эффект) могут происходить при плохой работе запорно-пускового устройства (см. рис. 2.7). При анализе работы запорных устройств включения и отключения большую помощь оказывают рисунки в табл. 2.2 и аналогичную помощь при оценке работы блокировок кнопки ручного управления и блок-контактов БКП (см. рис. табл. 2.3).

*Электромагнитные реле, встроенные в привод.* В зависимости от назначения выключателя предусматривают различное количество встроенных реле и их разные комбинации. По назначению реле могут осуществлять: максимально-токовую защиту без выдержки времени с помощью реле магнитного действия РТМ; то же, но с зависимой от тока и времени выдержкой времени — реле РТВ и защиту от понижения или исчезновения напряжения — реле РНВ.

Реле РТМ выполняют на уставки от 5 до 120 А с плавной и ступенчатой регулировкой силы тока. Основное регулирование по ступеням происходит изменением количества витков катушки с помощью переключателя. Между ступенями плавное регулирование достигается изменением воздушного зазора между сердечником и полюсом регулировочным винтом и упором. Надежность работы реле зависит от величины выхода штока и положения упора на релейном валу. Выход штока регулируется положением шайбы. Характеристики реле снимают по обычным схемам для максимальных реле.

Реле РТВ выполняются для трех пределов регулирования силы тока: 5—10; 11—20; 20—35 А, характеристики выдержки времени таковы, что переход на независимую уставку происходит при 2,5—3,5-кратной величине тока уставки. Завод гарантирует отклонение выдержки времени от заданной уставки на 0,3 с, однако очень часто эта величина не выдерживается из-за низкого качества подгонки трущихся деталей, поэтому использование реле для ответственных потребителей с интервалом в величине уставки по времени 0,5 с практически невозможно, так как на

практике очень часто бывают случаи неселективных срабатываний или отказов в работе защиты. Характеристики снимают по обычным схемам для реле времени.

## § 2.2. ПРИВОДЫ К МАСЛЯНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМ

Электромагнитный привод ПЭ-11 (рис. 2.10) является улучшенной конструкцией привода ПС-10. При включении привода ПС-10 его шток, двигаясь вверх, толкает ролик 5. При этом ось ролика движется не по прямой, перпендикулярной горизонтальной плоскости, а несколько отклоняется от нее под влиянием защелки, боковая сторона которой выполнена по специальному профилю, поэтому ролик слегка перемещается по выпуклой поверхности штока. Как только ролик окажется выше защелки, она передвигается под ролик, препятствуя возвращению его назад. Если в этот момент происходит отключение (вариант включения на к. з.), возникает излом звеньев, ролик будет из-за этого сбит с защелки и начнет двигаться назад мимо штока.

Это так называемая блокировка «от прыгания» работает не всегда четко из-за плохой поверхности штока и не совсем удовлетворительной формы профиля. Подобных недостатков нет у привода ПЭ-11. Основные же изменения относятся к механизму свободного расцепления. Вместо излома шарнирных звеньев (в приводе ПС-10) при отключении привода ПЭ-11 происходит поворот отключающей защелки 7, вследствие чего ролик упора 8 соскакивает со своего седла, давая возможность пальцу  $P_2$  переместиться вправо. При этом рычаг 2 сбивает ролик 5 со своего седла, в результате чего происходит отключение привода.

Следует отметить, что положение запирающей защелки приводов ПС-10 и ПЭ-11 не регулируется; у привода ПС-10 регулируется положение бойка отключения, у привода ПЭ-11 упор отключающей защелки имеет ограничительный болт, которым регули-

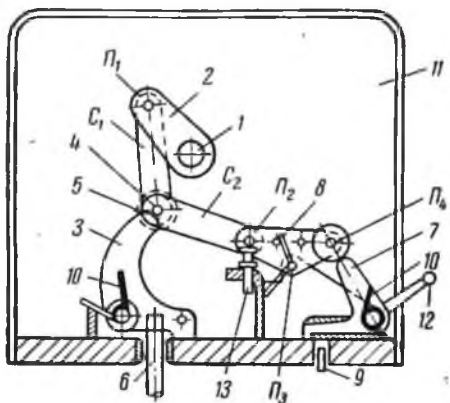


Рис. 2.10. Рычажная система привода ПЭ-11 в положении «Включено»

1 — вал; 2 — рычаг; 3 — запирающая защелка; 4 — упор запирающей защелки; 5 — ролик; 6 — боек якоря электромагнита включения; 7 — отключающая защелка; 8 — упор отключающей защелки; 9 — боек якоря электромагнита отключения; 10 — пружина запирающей защелки; 11 — основание; 12 — ручка ручного отключения; 13 — ограничительный болт;  $C_1$  и  $C_2$  — серьги;  $P_1$ — $P_4$  — пальцы

руется зазор между седлом защелки и упором. Нормальная величина этого зазора должна быть равна 1—1,5 мм. У приводов обоих типов важно точно выдерживать зазоры между роликом и упором, так как при меньшей величине зазора защелка может не стать на место, а при больших зазорах будут сильные удары, сопровождающиеся расклепыванием седла.

Приводы ПС-10 и ПЭ-11 должны получать питание от цепей постоянного тока. В последнее время проведены мероприятия для приспособления электромагнитных приводов к работе с оперативным переменным током. С этой целью для катушек включения применяют выпрямительные устройства, а для отключения — специальные приставки, например типа РЭТО или батарея конденсаторов.

Следует отметить, что в случае включения выключателя на к. з. ток во включающей катушке в момент замыкания контактов выключателя может резко снизиться из-за посадки напряжения в сеть, вызванной током к. з., и дальнейшее включение будет в основном происходить за счет использования энергии, накопленной в движущихся частях привода и выключателя. Это, безусловно, отразится на четкости работы выключателя и в некоторых случаях может привести к подгоранию контактов. Для предотвращения подобных явлений необходимо повысить скорость включения, и в момент подхода подвижного контакта к розеточному она должна быть равна 4—4,5 м/с, т. е. приближаться к величине, максимально допускаемой заводом для выключателей типа ВМП-10. При таких скоростях механизмы полюсов изнашиваются значительно быстрее.

Привод ПП-67 (рис. 2.11) несколько лучше по сравнению с выпускавшимися ранее приводами ПП-61 и ППМ-10. Для защиты и управления в нем применяют встроенные реле, описанные ранее в § 2.1.

При наладке основное внимание следует уделить механизму свободного расцепления, обязательно проверяя его работу во время включения и отключения привода. Механизм состоит из свободно поворачивающегося на оси 14 ударника расцепления 22 (серповидный рычаг), имеющего специальную планку 20 для удержания его во взведенном положении. После включения (ударник расцепления взведен) планка 20 опирается на ролик, удерживающий стойку 23 расцепления. Ударник расцепления взводится роликом 6, укрепленным на рычаге 5. Ролик, вращаясь вместе с рычагом 5, упирается в стойку 16 взвода, приподнимает ее и вместе с ней приподнимается ударник расцепления 22 (серповидный рычаг).

К механизму свободного расцепления относятся релейная ось 28, вращающаяся в опорах 26, защелка 24 и вал привода 21 с рычагом 27. Налаживая механизм свободного расцепления, надо обращать внимание на глубину захода защелки за зуб рычага 27. Она должна быть не менее 2 мм, а плоскости зацепления не долж-

пы иметь скосов, забоин, вмятин и следов расклепывания, так как плохо подогнанное зацепление может вызвать ложное отключение. Глубина зацепления регулируется упорным винтом защелки, кроме того, необходимо проверить предварительное натяжение пружины защелки для устранения качаний в момент встречи с зубом рычага.

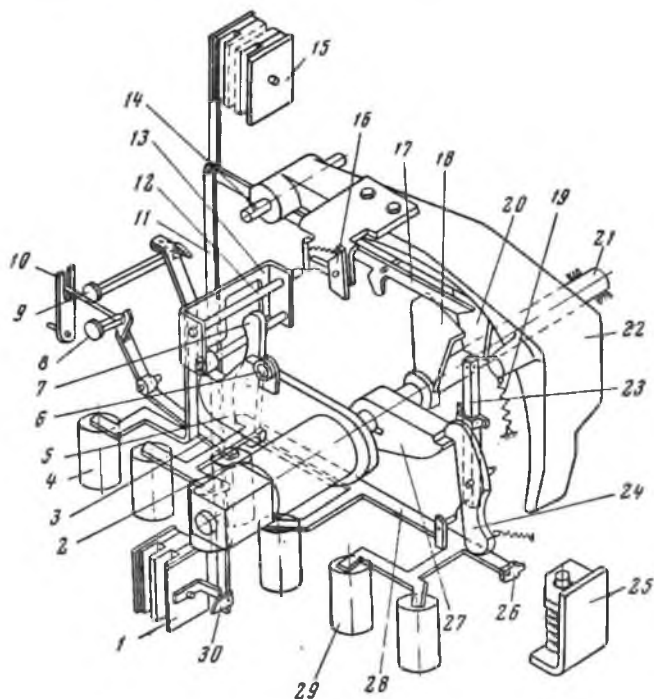


Рис. 2.11. Кинематическая схема привода ПП-67

После включения ролик стойки 23 расцепления должен упереться в среднюю часть планки 20. Поверхность планки 20, соприкасающаяся с роликом, должна быть слегка выпуклой, но на ней не должно быть сколов и любых следов видимых повреждений. При правильной установке не должно быть одностороннего смещения ролика относительно планки 20. При включении ролик 6 должен легко, без заеданий перекатываться по стойке 16.

На левой стенке привода может быть установлен замок механической блокировки любой конструкции для запираания привода в отключенном состоянии выключателя.

Для блокировки и сигнализации предназначены контакты 15 КСА и аварийного блок-контакта 1 БКА. Контакты управляются

общей рычажной системой 11 и 30. На стойку 11 воздействует промежуточный двуплечий рычаг 17. При включении на рычаг 17 нажимает рычаг 18, укрепленный на валу привода 21. Устройство АПВ (на рис. 2.11 не показано) представляет собой часовой механизм выдержки времени с пределами регулирования 0,5—2 м. Приводы, снабженные реле минимального напряжения, не имеют устройства АПВ.

Аппараты защиты и управления имеют два элемента для управления: катушку включения 4 и катушку отключения 2 и пять элементов 29 для защиты. В качестве защитных аппаратов могут быть использованы реле РТМ, РТВ и РНВ. Каждому из этих элементов в условном обозначении привода присвоена своя цифра: РТМ-1; РТВ-2 — токовый электромагнит отключения для схем защиты с дешунтированием — 5, РНВ-6; электромагнит релейного отключения с питанием от независимого источника тока — 4. В качестве примера приведем несколько расшифровок условных обозначений; /ПП-67/11222 — привод имеет два реле РТМ и три РТВ; ПП-67/11600 — привод имеет два реле РТМ и одно РНВ. Два элемента отсутствуют, на что указывают нули в условном обозначении.

Рассмотрим работу привода во время включения и отключения масляного выключателя. Привод можно включить дистанционно, посылая импульс тока в катушку 4, или вручную, нажимая на кнопку 9. В этом случае удерживающее устройство 13 повернется вокруг оси 12 и, надавливая на защелку 7, освободит рычаг 5. Рычаг 5 под воздействием силы предварительно растянутых пружин повернется на угол 140° (до упора в буфер 25). Во время поворота он своим роликом 6 приподнимет стойку 16 и взведет ударник расцепления 22. Ударник во взведенном положении будет зафиксирован стойкой 23, ролик которой упрется в планку 20. Вместе с валом привода 21 будет поворачиваться и рычаг 27. При полном повороте вала привода рычаг 27 фиксируется защелкой 24. В этом положении масляный выключатель включен. Одновременно под воздействием рычага 18 поворачивается двуплечий рычаг 17 и, нажимая на стойку 11, включит КСА 15. Второй копец стойки 11, опираясь на рычаг 30, включит БКА 1. Отключение может произойти или от элементов 29 защиты, или дистанционно при послышке импульса в катушку 2, или, наконец, вручную при нажатии кнопки 8. При срабатывании защиты ось 28 поворачивается от удара бойка любого элемента защиты, а при дистанционном отключении боек отключающей катушки ударяет по рычагу 3, который поворачивает ось 28, а при ручном отключении рычаг 10, воздействующий на ось 28, поворачивается при нажатии на кнопку 8. Ось 28 своим выптом нажимает на стойку 23 и, отклоняя ее, освобождает планку 20. Ударник расцепления 22 под воздействием пружины 19 падает вниз, ударяя по защелке 24, благодаря чему освобождается рычаг 27 и масляный выключатель отключается под воздействием своих пружин.

В заключение приводим несколько рекомендаций по проверке возможных дефектов механизма отключения:

наличие осевого зазора в ударнике расцепления может послужить причиной отказа в работе выключателя. Зазор устраняется подкладкой фольги на ось 14;

вследствие плохого состояния поверхностей соприкосновения защелки 24 и рычага 27 при воздействии ударника расцепления 22 на хвостовик защелки она не всегда освобождает рычаг. Если не помогает зачистка поверхностей соприкосновения защелки и рычага, следует удлинить хвостовик защелки наваркой нескольких миллиметров металла. Для проверки надежности срабатывания ударника расцепления целесообразно его сбрасывать вручную с высоты 8—10 мм на защелку и проверять четкость отключения;

работа механизма свободного расцепления всех приводов должна быть проверена не только при включенном положении привода, но также в двух-трех промежуточных положениях и на границе зоны действия свободного расцепителя.

### § 2.3. ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА (ТТ)

Приступая к наладке, следует:

внешним осмотром определить качество и правильность монтажа;

выяснить соответствие ТТ проекту и условиям работы;

провести испытания в объеме, предусмотренном Правилами [14, 16];

снять характеристики применительно к условиям работы ТТ: проверить схему соединений во вторичных цепях.

При внешнем осмотре проверяют, нет ли повреждений изоляции, кожуха и контактных частей и целы ли пломбы. Если пломбы нарушены или сорваны, трансформаторы необходимо подвергнуть предварительным испытаниям в объеме, предусмотренном ГОСТ 7746—68\* «Трансформаторы тока. Общие технические требования» и ГОСТ 1516—73 «Трансформаторы, аппараты и изоляторы высокого напряжения. Нормы и методы испытаний электрической прочности изоляции» с последующей приемкой их представителями комитета стандартов, мер и измерительных приборов (для расчетных приборов учета электроэнергии).

Особое внимание следует обратить на качество и состояние контактных соединений. Поверхность контакта должна быть ровной, без больших вмятин или раковин (подправка или шлифовка контактной поверхности не рекомендуется) и покрыта тонким слоем технического вазелина. В сыром помещении поверхность должна иметь специальное токопроводящее антикоррозионное покрытие.

Болтовой контакт, обеспечивая соответствующее давление, препятствующее повышению температуры выше границ, устано-

внешних ГОСТ 8024—69 «Аппараты переменного тока высокого напряжения», по конструкции должен соответствовать материалу шин.

При соединении токопроводов из различных материалов следует применять переходные пластины. Подсоединяя шпину к выводу, необходимо обратить внимание на ширину шины — она должна быть равна или превосходить ширину вывода. Если ширина шины более чем в полтора раза превышает ширину вывода, необходима переходная прокладка.

Правильность маркировки зажимов проверяют милливольтметром и источников постоянного тока. В момент замыкания ключа

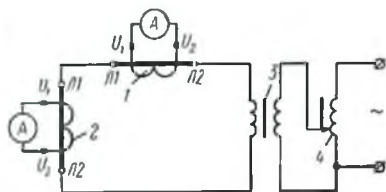


Рис. 2.12. Схема проверки трансформаторов тока:

- 1 — контрольный трансформатор тока;  
2 — проверяемый трансформатор тока;  
3 — нагрузочный трансформатор; 4 — автотрансформатор

стрелка милливольтметра будет отклоняться в положительную сторону при правильном обозначении зажимов, и наоборот. Коэффициент трансформации во время испытаний проверяют только у встроенных ТТ и предназначенных для учета электроэнергии. Схема включения ТТ для этой проверки показана на рис. 2.12.

Первичную обмотку испытывают повышенным напряжением в соответствии с требованиями ПУЭ [14], а вто-

ричные обмотки испытывают совместно с испытанием вторичных цепей. Величина сопротивления изоляции ТТ не нормируется.

Перед проверкой характеристик холостого хода намагничивания сердечников ТТ его следует размагнитить, для чего увеличивают ток до пределов, обеспечивающих насыщение сердечника, а затем плавно снижают до нуля. Насыщения можно добиться, включив во вторичную обмотку сопротивление 100 м и пропустив по первичной номинальный ток.

Снятие характеристики холостого хода проводится для выявления к. з. витков и использования полученных данных для наладки специальных видов защит.

Наиболее простой является схема для измерения тока намагничивания при разомкнутой первичной обмотке в функции приложенного напряжения (рис. 2.13). Полученные результаты пересчитывают для построения кривой намагничивания по формулам:

$$Aw_0 = \frac{Iw_2}{L};$$

$$B = \frac{4,5U}{Qw_2} 10^5,$$

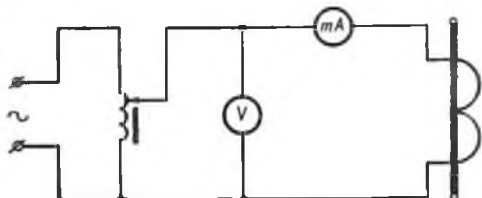
где  $I$  — ток, проходящий через вторичную обмотку ТТ, А;  $w_2$  — число витков вторичной обмотки;  $U$  — напряжение на зажимах

вторичной обмотки, В;  $L$  — длина средней линии сердечника, см;  $Q$  — сечение сердечника ТТ, см<sup>2</sup>.

Если имеются действующие исправные ТТ, то вместо пересчета ограничиваются сравнением характеристик испытуемых и исправных трансформаторов.

Очень часто при наладке простейших защит вместо снятых характеристик холостого хода используют типовые кривые намагничивания для соответствующих марок сталей. Следует отметить, что в тех случаях, когда нужна относительная оценка

Рис. 2.13. Схема для снятия характеристики намагничивания



ошибки одинаковых ТТ, работающих в одной схеме защиты, пересчетов не делают, ограничиваясь построением кривых.

Все результаты испытаний заносят в протокол, к которому прикладывают построенные кривые.

#### § 2.4. ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ (ТН)

Ревизия осуществляется внешним осмотром, во время которого проверяют целостность и степень затяжки пробок, уровень заполнения бака маслом, состояние фарфора, качество его армировки и надежность контактных соединений. Испытания осуществляют в объеме ПУЭ [14], ГОСТ 1516—73 и ГОСТ 1983—67 «Трансформаторы напряжения. Общие технические требования».

Проводя испытания, следует учитывать, что в соответствии с ГОСТ 1983—67 испытание трансформатора напряжения повышенным напряжением должны производить при температуре окружающей среды в пределах от 10 до 35° С и лишь после того, как испытуемый объект примет температуру помещения, в котором производят испытания. При испытании внутренней изоляции скорость подъема напряжения до 40% испытательного может быть произвольной, дальнейшее повышение напряжения должно производиться плавно, со скоростью около 3% испытательного напряжения в 1 с. После подъема до номинальной величины испытательное напряжение выдерживают 1 мин, а затем снижают в течение примерно 5 с до величины 25% или менее испытательного, после чего производят отключение.

Сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса измеряют мегомметрами. Со стороны высшего напряжения применяют мегомметр на 2,5 кВ, а со стороны низшего — до 1000 В. Величина сопротивления не нормируется.

При измерении тока х.х. следует контролировать, чтобы подведенное ко вторичной стороне напряжение соответствовало номинальному, а полученные результаты соответствовали или заводскому паспорту, или данным аналогичным исправных трансформаторов. Следует учесть, что коэффициенты трансформации должны быть проверены для всех фаз.

Погрешности должны укладываться в допуски для данного класса трансформатора напряжения. Подсчет погрешностей выполняется по формуле, предусмотренной ГОСТ 1983—67,

$$U = \frac{kU_2 - U_1}{U_1} 100\%,$$

где  $k$  — номинальный коэффициент трансформации;  $U_1$  — напряжение, приложенное к зажимам первичной обмотки;  $U_2$  — напряжение, измеренное на зажимах вторичной обмотки.

При подключении счетчиков или специальных видов защиты проверяют полярность вводов и группу соединений.

Проверяют, вынута ли резьбовая шайба под болтом в отверстии для заливки масла и свободно ли отверстие в болте, предназначенное для выхода газов.

У трансформаторов типа НТМИ в соответствии с ГОСТ 1983—67 необходимо проверить величину напряжения на зажимах дополнительной обмотки в режимах х.х. и замыкания на землю. При холостом ходе и симметричном подведенном напряжении напряжение на дополнительной обмотке не должно превышать 8 В. Для имитации случая замыкания на землю вывод фазы со стороны высокого напряжения соединяется с выводом нейтрали, а затем трансформатор подключается к номинальному напряжению. На вводах дополнительной обмотки должно появиться напряжение 97—100 В.

## РЕГУЛИРОВКА И НАЛАДКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ОРУ-35-110 кВ

### § 3.1. СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ВКЛЮЧЕНИЯ ИХ БЕЗ СУШКИ

Общий объем испытаний силовых трансформаторов перед включением их под напряжение обусловлен нормами ПУЭ [14]:

1) определением условий включения трансформатора без сушки;

2) испытанием повышенным напряжением промышленной частоты;

а) изоляции обмоток совместно с вводами;

б) изоляции доступных стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок (испытание проводится при осмотре активной части);

3) измерение сопротивления обмоток постоянному току. Выполняется на всех ответвлениях, если это не требует выемки сердечника;

4) измерением тока х. х. при номинальном напряжении;

5) проверкой работы переключающего устройства и снятием круговой диаграммы;

6) осмотром и проверкой устройств охлаждения (в соответствии с заводской инструкцией);

7) проверкой целостности заземления балок ярма, прессующих колец и магнитопровода (выполняется только в случае осмотра активной части как залитых трансформаторным маслом, так и сухих трансформаторов);

8) фазировкой трансформатора;

9) испытанием включением толчком на номинальное напряжение. В процессе трех — пятикратного включения трансформатора на номинальное напряжение контролируют отсутствие явлений, указывающих на неудовлетворительное состояние трансформатора;

10) испытанием вводов;

11) испытанием встроенных трансформаторов тока;

12) испытанием трансформаторного масла.

Трансформаторы мощностью 1000 кВа и менее испытывают в объеме, предусмотренном в п. 1, 3, 8, 9, 12.

Перед началом испытаний необходимо провести внешний осмотр трансформатора, в процессе которого и исправить все выявленные недостатки, обратив внимание на состояние: бака,

вводов, радиаторов охлаждения и положения кранов у них, общего крана и его положения, а также крана на трубопроводе к расширителю, маслоуказательных стекол и уровня масла, заземления трансформатора, всех узлов переключателя и кабельной разводки.

После устранения всех недостатков, обнаруженных во время внешнего осмотра, приступают к определению условий возможности включения трансформатора под напряжение без сушки. Объем проверки состояния изоляции и условия включения зависят от мощности трансформатора, его номинального напряжения и условий доставки на монтажную площадку.

В соответствии с этим трансформаторы разделены на несколько групп:

**I группа.** В нее входят трансформаторы мощностью менее 2500 кВ·А, напряжением 35 кВ включительно, транспортируемые с маслом.

Для этой группы:

а) уровень масла должен быть в пределах отметок маслоуказателя;

б) масло без следов воды, а напряжение, кВ, пробоя масла:

|                           |          |    |
|---------------------------|----------|----|
| для трансформаторов до 15 | Не менее | 25 |
| » » от 15 до 35           | »        | 30 |
| » » » 60 » 220            | »        | 40 |

в) величина  $R_{60}/R_{15}$  не ниже 1,3 при температуре от +10 до +30° С;

г) если условие «а» не соблюдено, но обмотка и ярмо покрыты маслом, или если частично не выполнено условие «б», но в масле нет следов воды, а пробивное напряжение ниже требуемого не более чем на 5 кВ, дополнительно определяют отношение  $C_{2C_{50}}$  или  $\lg \delta$  обмоток в масле. Если производится ревизия со сливом масла, то измеряют величину  $\Delta C/C$  активной части без масла.

Значения  $\lg \delta$  и  $\Delta C/C$  должны удовлетворять нормам, приведенным в табл. 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1

Максимально допустимые значения  $\lg \delta$ , %, обмоток трансформатора

| Класс напряжения обмотки высшего напряжения                         | Температура обмотки, °С |     |     |     |     |     |    |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|                                                                     | 10                      | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70 |
| До 35 кВ включительно, мощность менее 2500 кВ·А                     | 1,5                     | 2   | 2,6 | 3,4 | 4,6 | 6   | 8  |
| До 35 кВ включительно, мощность менее 1000 кВ·А                     | 1,2                     | 1,5 | 2   | 2,6 | 3,4 | 4,5 | 6  |
| 35 кВ, мощность 10 000 кВ·А и более и 110 кВ независимо от мощности | 0,8                     | 1,0 | 1,3 | 1,7 | 2,3 | 3   | 4  |

Примечание. Значение  $\lg \delta$  относится ко всем обмоткам данного трансформатора.

Таблица 3.2

Наибольшие значения  $\Delta C/C$ , %, обмоток трансформатора без масла

| Класс напряжения обмотки высшего напряжения                                                                                                                                                                         | Температура обмотки, °C |    |    |      |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----|----|------|----|
|                                                                                                                                                                                                                     | 10                      | 20 | 30 | 40   | 50 |
| До 35 кВ включительно, мощность менее 10 000 кВ·А ( $\Delta C/C$ в конце ревизии)                                                                                                                                   | 13                      | 20 | 30 | 45   | 75 |
| То же (разность между значениями $\Delta C/C$ в конце и начале ревизии, приведенными к одной температуре) . . . . .                                                                                                 | 4                       | 6  | 9  | 13,5 | 22 |
| До 35 кВ включительно, мощность 10 000 кВ·А и больше; 110 кВ и больше независимо от мощности ( $\Delta C/C$ в конце ревизии) . . . . .                                                                              | 8                       | 12 | 18 | 29   | 44 |
| До 35 кВ включительно, мощность 10 <sup>4</sup> кВ·А и больше; 110 кВ и больше независимо от мощности (разность между значениями $\Delta C/C$ в конце и начале ревизии, приведенными к одной температуре) . . . . . | 3                       | 4  | 5  | 8,5  | 13 |

Примечание. Значения  $C_2/C_{50}$  должны удовлетворять данным, приведенным в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Максимально допустимые значения  $C_2/C_{50}$  обмоток трансформаторов

| Класс напряжения обмотки высшего напряжения                                                   | Температура обмотки, °C |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------|------|
|                                                                                               | 10                      | 20   | 30   |
| До 35 кВ включительно для трансформаторов мощностью менее 1000 кВА . . . . .                  | 1,1                     | 1,2  | 1,3  |
| До 35 кВ включительно, мощностью 10 000 кВ·А и более; 110 кВ независимо от мощности . . . . . | 1,05                    | 1,15 | 1,25 |

Достаточным для включения без сушки является соблюдение одной из следующих комбинаций выдвинутых ранее условий: для трансформаторов мощностью до 1000 кВ·А;

- 1) а, б, 2) б, г; 3) а, г;  
для остальных трансформаторов I группы:  
1) а, б, в; 2) б, в, г; 3) а, в, г;

**II группа.** В нее входят трансформаторы мощностью менее 10 000 кВ·А, напряжением до 35 кВ включительно, транспортируемые с маслом, но без расширителя. Условия включения без сушки:

- а) кожух трансформатора герметичный;  
б) масло без следов воды, а пробивное напряжение его в соответствии с нормами, приведенными ранее;  
в) величина  $R_{60}/R_{15}$  не ниже 1,3 при температуре от +10 до +30° С, а  $C_2/C_{50}$  — в соответствии с данными табл. 3.3;

г) если одна или обе указанные в пункте «в» величины не удовлетворяют нормам, дополнительно измеряют  $\lg \delta$  обмоток в масле. Эта величина должна удовлетворять нормам, приведенным в табл. 3.1, или расхождение ее с данными заводского протокола, приведенными к температуре, измеренной на монтаже, не должно превышать 30% в сторону ухудшения;

д) если величина  $\lg \delta$  не удовлетворяет нормам,  $\lg \delta$  масла превышает 0,6% и нет данных заводских измерений, следует измерить величину  $\Delta C/C$  активной части трансформатора без масла или величину  $C_r/C_x$  при контрольном прогреве в масле. Нормы для этих величин даны в табл. 3.3 и 3.4.

Для включения трансформаторов II группы без сушки достаточно выполнения условий в одной из следующих комбинаций:

1) а, б, в; 2) а, б, г; 3) а, б, д;

Таблица 3.4

Максимально допустимые значения  $C_r/C_x$  обмоток трансформаторов в масле

| Класс напряжения обмотки высшего напряжения                                                  | $C_r/C_x$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| До 35 кВ включительно, мощностью менее 10 000 кВ·А                                           | 1,1       |
| До 35 кВ включительно, мощностью 10 000 кВ·А и более; 110 кВ и больше независимо от мощности | 1,05      |

**III группа.** В эту группу входят трансформаторы мощностью 10 000 кВ·А и более, напряжением до 35 кВ включительно, транспортируемые с маслом, но без расширителя. Условия включения таких трансформаторов без сушки:

а) кожух трансформатора герметичный;

б) масло без следов воды, а пробивное напряжение его соответствует нормам, приведенным ранее;

в) величина  $\Delta C/C$ , измеренная в конце ревизии (если она проводится), не превышает значений, приведенных в табл. 3.3, кроме того, приращение отношения  $\Delta C/C$ , измеренного в конце и начале ревизии и приведенного к одной температуре, не превышает значений, указанных в табл. 3.3;

г) величины  $R_{60}$ ,  $C_2/C_{60}$  или  $\lg \delta$ , измеренные после окончания монтажа и заливки маслом, удовлетворяют нормам, приведенным в табл. 3.1 и 3.2, а также в табл. 3.5, или  $R_{60}$  и  $\lg \delta$  не отличаются от заводских данных, приведенных к температуре изоляции при измерении этих характеристик на монтаже более чем на 30% в сторону ухудшения;

д) величины  $\lg \delta$  обмоток, измеренные после окончания монтажа и заливки маслом, если не предусмотрен осмотр активной

части трансформатора с измерением  $\Delta C/C$ , должны удовлетворять условию «г»;

е) если одна из величин, указанных в условиях «г» и «д», не удовлетворяет нормам, измеряют величины  $R_{60}$  и  $\operatorname{tg} \delta$  обмоток в масле при той же температуре изоляции, при которой эти величины измерялись на заводе. Расхождение между полученными при измерении и заводскими данными не должно превышать 30% в сторону ухудшения.

Таблица 3.5

Максимально допустимые значения  $R_{60}$  обмоток трансформаторов в масле

| Класс напряжений обмоток высшего напряжения                                                   | Температура обмоток, °C |     |     |     |     |     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|                                                                                               | 10                      | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70 |
| До 35 кВ включительно, мощностью менее 10 000 кВ·А . . . . .                                  | 450                     | 300 | 200 | 130 | 90  | 60  | 40 |
| До 35 кВ включительно, мощностью 10 000 кВ·А и более; 110 кВ независимо от мощности . . . . . | 900                     | 600 | 400 | 260 | 180 | 120 | 80 |

Для включения трансформаторов III группы без сушки достаточно выполнить условия одной из следующих комбинаций:

1) а, б, в, г; 2) а, в, г, д; 3) а, б, в, д.

*IV группа.* К этой группе относятся трансформаторы напряжением 110 кВ и выше, транспортируемые с маслом, но без расширителя.

Условия их включения без сушки:

а) кожух трансформатора герметичен;

б) масло без следов воды, а пробивное напряжение его соответствует нормам, приведенным выше;

в) величины  $\Delta C/C$ , измеренные в конце ревизии (если она выполняется), не превышают значений, указанных в табл. 3.3, кроме того, приращение отношения  $\Delta C/C$ , измеренного в начале и конце ревизии и приведенного к одной температуре, не превышает значений, указанных в табл. 3.3;

г) величины  $R_{60}$  и  $\operatorname{tg} \delta$  обмоток, измеренные после окончания монтажа и заливки масла, удовлетворяют нормам, приведенным в табл. 3.1 и 3.5, или не отличаются от заводских данных, приведенных к температуре измерения при монтаже, более чем на 30% в сторону ухудшения.

Для включения без сушки достаточно выполнить одно из условий: 1) а, б, г (если ревизия активной части не предусмотрена); 2) а, б, в, г (если предусмотрен осмотр активной части со сливом масла).

*V группа.* В нее входят трансформаторы напряжением 110 кВ и выше, транспортируемые без масла. Условия для включения их без сушки:

а) кожух трансформатора герметичен;  
б) масло без следов воды, а пробивное напряжение соответствует нормам, приведенным выше. Значение  $\operatorname{tg} \delta$  для масла при температуре  $+20^\circ \text{C}$  не более 0,6 (при большей величине  $\operatorname{tg} \delta$  измерение сопротивления изоляции обмотки следует проводить без масла);

в) индикаторный спликагель — голубого цвета или индикатор увлажнения согласно заводской инструкции не показывает увлажнения;

г) величина  $\Delta C/C$ , измеренная в конце ревизии, не превышает значений, приведенных в табл. 3.3. Кроме того, приращение  $\Delta C/C$ , измеренное в конце и начале ревизии и приведенное к одной температуре, не превышает данных табл. 3.3;

д) величины  $R_{90}$  и  $\operatorname{tg} \delta$  для обмоток, измеренные после окончания монтажа и заливки масла, не отличаются от заводских данных, приведенных к температуре измерения при монтаже, более чем на 30% в сторону ухудшения.

Для включения без сушки необходимо выполнять одну из комбинаций: 1) а, б, в, г, д; 2) а, б, в, д (если ревизия активной части не предусмотрена).

### § 3.2. ПРОВЕРКА ХАРАКТЕРИСТИК И ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ

1. *Измерение характеристик изоляции.* Измерения выполняют при температуре изоляции не ниже  $+10^\circ \text{C}$  и начинают их не ранее, чем через 12 ч после окончания заливки масла в бак трансформатора. Сопротивление измеряют мегомметром на 2500 В для каждой обмотки отдельно по схемам:

двухобмоточные трансформаторы:

ВН — корпус (бак); НН — корпус; ВН + НН — корпус;

трехобмоточные трансформаторы:

ВН — (корпус + СН + НН); СН — (корпус + ВН + НН);  
(ВН + СН + НН) — корпус.

Здесь: ВН, СН, НН — обмотки соответственно высшего, среднего и низшего напряжения; знак «+» — электрическое соединение между обмотками или обмотками и корпусом.

Все обмотки, не участвующие в измерении, соединяют с корпусом и надежно заземляют. При измерении фиксируют показания мегомметра через 15 и 60 с после начала измерения, обозначая полученные данные соответственно  $R_{15}''$  и  $R_{60}''$ . Моментом начала измерения нужно считать момент устойчивых оборотов ручки мегомметра.

Величины  $R_{15}$  и  $R_{90}$  не нормируются, так как зависят от многих факторов, в том числе и от конструктивных размеров трансформатора. Однако коэффициент абсорбции ( $R_{90}/R_{15}$ ) дает возможность судить о степени увлажнения изоляции. Допустимым считается коэффициент не ниже 1,3 для измерений, проведенных

при температуре  $+10 - +30^{\circ}\text{C}$ . Температуру изоляции трансформатора, не подвергшегося нагреву или подогреву, принимают равной температуре верхних слоев масла, измеренной термометром.

Полученные при испытаниях результаты следует сравнить с заводскими контрольными испытаниями. Если измерения на заводе проводились при иных температурах, то результаты, полученные при заводских испытаниях, приводят к условиям монтажа, используя формулу

$$R_m = KR_z,$$

где  $R_m$  — ожидаемые результаты при испытаниях на монтаже для  $R_{60}$ ;  $R_z$  — результаты, полученные на заводе при  $R_{60}$ . Коэффициент  $K$  находят из табл. 3.6.

Таблица 3.6

Значение коэффициента  $K$

| $T_m - T_z, ^{\circ}\text{C}$ | 5    | 10  | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   |
|-------------------------------|------|-----|------|------|------|------|------|
| $K$                           | 1,23 | 1,5 | 1,84 | 2,25 | 2,75 | 3,4  | 4,15 |
| $T_m - T_z, ^{\circ}\text{C}$ | 40   | 45  | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   |
| $K$                           | 5,1  | 6,2 | 7,5  | 9,2  | 11,2 | 13,9 | 17   |

Примечание.  $T_m$  — температура при испытаниях на монтаже,  $T_z$  — то же, на заводе.

На монтажных площадках испытания трансформаторов, стоящих на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях, очень часто проводят в зимнее или осеннее время при низких температурах, поэтому трансформатор перед началом испытания прогревают током к. з., по величине не превышающим номинальный ток трансформатора, или индукционными потерями или иным удобным способом, выбранным в зависимости от мощности трансформатора и местных ресурсов.

В любом случае после окончания подогрева за температуру изоляции принимают температуру обмотки ВН, измеренную через 1 ч после прекращения нагрева.

Емкость и  $\text{tg } \delta$  обмоток измеряют мостом переменного тока, например типа МД-16, по перевернутой схеме. Измерение  $\text{tg } \delta$  на трансформаторах, залитых маслом, проводят при напряжении, не превышающем 60% заводского испытательного напряжения испытуемой обмотки, но не выше 10 кВ. При измерениях на трансформаторах, не залитых маслом, если испытуемая обмотка класса напряжения выше 35 кВ, испытательное напряжение не должно

превышать 3 кВ. При сушке трансформатора без масла  $\operatorname{tg} \delta$  раз-  
решается измерять при напряжении не выше 220 В.

Определение влажности изоляции обмотки по методу «ем-  
кость — частота» ( $C_2/C_{50}$ ) основано на том, что емкость неувлаж-  
ненного трансформатора при изменении частоты меняется меньше  
или остается постоянной по сравнению с емкостью трансформа-  
тора с увлажненной изоляцией. Емкость изоляции принято из-  
мерять при двух частотах: 2 Гц ( $C_2$ ) и 50 Гц ( $C_{50}$ ). Отноше-  
ние  $C_2/C_{50}$  измеряется прибором ПКВ-13.

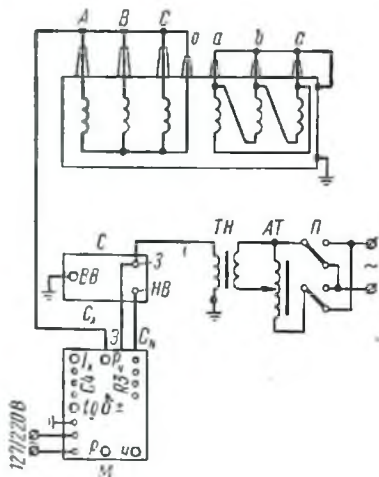


Рис. 3.1. Измерение диэлектрических потерь обмоток трансформатора (перевернутая схема):

$M$  — мост;  $P_q$  — регулятор частоты;  
 $I$  — переключатель чувствительности;  
 $I_x$  — шунт;  $R_3$  — декадноое сопротивление;  
 $C_2$  — емкость, показывающая величину  $\operatorname{tg} \delta$  в  $\%$ ;  $C$  — эталонный конденсатор;  
 $BV$  — высоковольтный вывод;  $\delta$  — земля;  
 $HV$  — высоковольтный вывод;  $C_x$ ,  $\delta$ ,  $C_N$  — вывод моста;  $P$  — реохорд

Определение увлажненности изоляции по приросту емкости за 1 с ( $\Delta C/C$ ) основано на том, что, заряжая емкость изоляции, а затем разряжая ее, измеряют емкость обмотки трансформатора  $C$  и прирост емкости  $\Delta C$  в течение 1 с за счет абсорбционной емкости. Абсорбционная емкость успевает проявиться за 1 с у влажной изоляции и не успевает у сухой. Отношение  $\Delta C/C$  характеризует степень увлажненности обмоток трансформатора. Измеряют это отношение прибором типа ЕВ-3.

Диэлектрические потери изоляции обмоток трансформатора измеряют мостом МД-16 по перевернутой схеме (рис. 3.1) относительно заземленного корпуса (бака) и по нормальной схеме (рис. 3.2) между самими обмотками. В этом случае вводы каждой обмотки должны быть закорочены, а испытываемая обмотка, кроме того, заземлена.

При измерениях  $\operatorname{tg} \delta$  между обмотками трансформатора провод  $C_x$  моста подключается к обмотке, которая имеет более низкое рабочее напряжение.

По окончании сборки схемы необходимо:

проверить заземление корпуса испытываемого трансформатора, испытательного трансформатора и корпуса моста (см. рис. 3.1), изоляцию проводов от земли и снять временное заземление высоковольтного вывода вторичной обмотки;

установить ограждения вокруг всей зоны высшего напряжения; рукоятки сопротивлений, емкостей моста и переключателя чувствительности установить в нулевое положение, рукоятку

переключателя полярности поставить в среднее положение (положительное, отмеченное знаком «+»), а рукоятку шунтов ( $I_x$ ) плеча  $R3$  — в положение, соответствующее предполагаемому току, руководствуясь табл. 3.7.

Если испытание производят при напряжении, отличающемся от 10 кВ, величина тока подсчитывается по формуле

$$I = 314UC_x,$$

где  $U$  — испытательное напряжение, В;  $C_x$  — емкость, Ф.

Если емкость объекта известна лишь приблизительно или вовсе неизвестна, рукоятку шунтов следует поставить в положение, соответствующее наибольшему возможному току.

При испытаниях трансформатора 110/10 кВ, мощностью 2500 кВ·А были получены следующие величины емкостей обмоток при температуре  $\pm 30^\circ \text{C}$ : обмотка ВН — 4100 пФ; обмотка НН — 8200 пФ; между обмотками ВН и НН — 2670 пФ;

испытательное напряжение подвигать до нужной для испытания величины. Во время подъема напряжения и далее в процессе испытания нужно быть готовым немедленно отключить напряжение в случае каких-либо неисправностей (пробоя, перекрытия изоляции или при появлении человека в зоне ограждения).

Измерение  $\lg \delta$  заключается в следующем:

1) включают осветитель гальванометра, проверяют появление узкой световой полосы и ее положение (допускается смещение от нуля в сторону не более чем на пять делений);

2) переключатель полярности устанавливают в одно из крайних (положительных «+») положений;

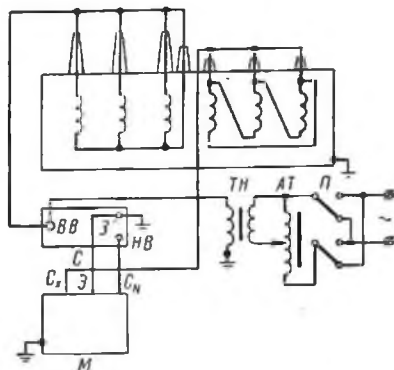


Рис. 3.2. Измерение диэлектрических потерь между обмотками трансформатора  $Y/\Delta$  (нормальная схема)

Таблица 3.7

Выбор предполагаемой силы тока

| Положение переключателя шунтов, А              | 1,25           | 0,15   | 0,06   | 0,025 | 0,01 |
|------------------------------------------------|----------------|--------|--------|-------|------|
| Емкость объекта при напряжении 10 кВ, пФ . . . | $4 \cdot 10^3$ | 48 000 | 19 400 | 8000  | 3000 |

3) переключатель чувствительности переводят из нулевого в последующее положение до тех пор, пока световая полоса, расширившись, не займет  $\frac{1}{3} - \frac{1}{2}$  всей шкалы;

4) вращая ручку частотной настройки, добиваются максимального расширения световой полосы. При приближении световой полосы к краям шкалы уменьшают чувствительность;

5) постепенно, вводя сопротивление  $R_3$ , подбирают такую величину его, при которой световая полоса имеет минимальную величину;

6) вводя постепенно емкость  $C_4$  ( $\text{tg } \delta\%$ ), подбирают такую величину ее, при которой световая полоса имеет минимальную ширину;

7) снова корректируют  $R_3$  для еще большего уменьшения световой полосы. На последних ступенях балансировки по  $R_3$  следует использовать реохорд;

8) одновременно с балансировкой по п. 5, 6, 7 постепенно увеличивают чувствительность гальванометра. Снова регулируют мост на частоту испытательного напряжения, вращая рукоятку настройки до получения наибольшей ширины световой полосы. После этого снова возвращаются к балансировке моста, стремясь сузить световую полосу;

9) записывают значение сопротивления  $R_3$ , реохорда  $P$  и емкости  $C_4$ , а также положение рукоятки шунтов полярности;

10) переключатель полярности переводят в другое крайнее положение, корректируют настройку моста, снизив на время чувствительность гальванометра, и записывают полученные результаты;

11) переключатель чувствительности устанавливают на нуль. Меняют полярность питающей сети, затем, постепенно повышая чувствительность гальванометра, производят измерение при двух других противоположных полярностях, записывая результаты обоих измерений;

12) по окончании всех четырех измерений переключатель чувствительности переводят в нуль, переключатель полярности — в среднее положение, снижают испытательное напряжение до нуля, выключают напряжение, разбирают схему и снимают ограждения.

Подсчет емкости обмотки, полученной при каждом отдельном измерении, производят по формуле

$$C_x = C_N \frac{R_4}{R_3 + P},$$

где  $P$  — сопротивление действующей части реохорда, если измерение производили при положении рукоятки переключателя шунтов в значении 0,01 А, при всех других положениях шунтов емкость подсчитывается по формуле

$$C_x = C_N R_4 \frac{100 + R_3}{n(R_3 + P)},$$

где  $n$  — берут из следующих данных:

|                                            |       |      |      |      |
|--------------------------------------------|-------|------|------|------|
| Положение рукоятки переключателя<br>шунтов | 0,025 | 0,06 | 0,15 | 1,25 |
| Величина сопротивления $n$ , Ом            | 60    | 25   | 10   | 4    |

Емкость  $C_x$  выражается в тех же величинах, что и  $C_N$ ;  $R_4$  — постоянное сопротивление, равное 3184 Ом;  $C_N$  — емкость образцового конденсатора  $50 \pm 1$  пФ.

Истинное значение емкости обмотки определяют из результатов всех четырех измерений

$$C_x = \frac{C_{x1} + C_{x2} + C_{x3} + C_{x4}}{4},$$

где  $C_{x1}$ ,  $C_{x2}$ ,  $C_{x3}$ ,  $C_{x4}$  — значения емкости, подсчитанные на основании результатов отдельных измерений.

Величину  $\lg \delta$  в % отсчитывают непосредственно по показаниям, полученным во время измерений, так как  $\lg \delta = C_4$ .

Средняя величина тангенса угла диэлектрических потерь

$$\lg \delta = \frac{\lg \delta_1 + \lg \delta_2 + \lg \delta_3 + \lg \delta_4}{4}, \%$$

является окончательным результатом измерений.

Значения  $\lg \delta$ , измеренные на заводе, приводят к температуре измерения на монтаже с помощью коэффициента  $K_1$ , значения которого даны в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Значения коэффициента  $K_1$

| $T_3 - T_m, ^\circ\text{C}$ | 5    | 10   | 15   | 20   | 25  | 30  | 35   |
|-----------------------------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| $K_1$                       | 1,15 | 1,31 | 1,51 | 1,75 | 2   | 2,3 | 2,65 |
| $T_3 - T_m, ^\circ\text{C}$ | 40   | 45   | 50   | 55   | 60  | 65  | 70   |
| $K_1$                       | 3    | 3,5  | 4    | 4,6  | 5,3 | 6,1 | 7    |

Величина  $\lg \delta$  на монтаже не должна превышать более чем на 30% данные, полученные во время заводских измерений.

Пример. Трансформатор 110/10 кВ, мощностью 2500 кВ·А. По заводскому паспорту [измерение по схеме ВН — (корпус + НН)] при температуре  $+62^\circ\text{C}$   $\lg \delta = 1,3\%$ . При измерении на монтаже получен  $\lg \delta = 0,6$  при температуре  $+32^\circ\text{C}$ .

Заводские данные, приведенные к температуре на монтаже, будут  $\lg \delta = 1,3/2,3 = 0,56\%$ . Максимально допустимая величина на монтаже с учетом превышения на 30% приведенных заводских данных может составлять  $\lg \delta = 0,56 \cdot 1,3 = 0,72\%$ , т. е. полученная при измерениях величина находится в пределах максимально допустимой.

Сопротивление изоляции первичной обмотки измерительных трансформаторов напряжения определяют мегомметром на напряжении 2500 В. Сопротивление изоляции не нормируется. Сопротивление изоляции вторичных обмоток проверяют мегомметром на напряжении 1000 В, и оно вместе с подсоединенными к ним цепями должно быть не менее 1 МОм.

Тангенс угла диэлектрических потерь изоляции обмоток у измерительных трансформаторов определяют напряжением 35 кВ и выше, у которых оба вывода первичной обмотки рассчитаны на номинальное напряжение. Оценку состояния изоляции обмоток по тангенсу угла диэлектрических потерь производят по действующим нормам.

*Измерение сопротивления обмоток постоянному току.* В соответствии с правилами это испытание проводят перед включением трансформатора на всех ответвлениях. Если управление переключателем ответвлений требует снятия крышки бака и подъема активной части, то проверку ведут только при положении переключателя, установленном для работы, а проверку остальных ответвлений осуществляют лишь при ревизии трансформатора.

В соответствии с ГОСТ 3484—65 проверять сопротивление обмоток можно двумя способами: применяя мост или методом вольтметра — амперметра. Величина силы тока при измерении не должна превышать  $\frac{1}{3}$  номинального. Показания с приборов снимают или по окончании измерений (мост постоянного тока), или в процессе измерения. При измерениях должна быть зафиксирована температура обмоток. Для трансформаторов, не подвергавшихся нагреву, она может быть приравнена к температуре верхних слоев масла. Температуру измеряют жидкостным термометром. Иногда, если температура окружающей среды постоянна, измеряют ее, не контролируя температуру трансформаторного масла.

Применяя метод вольтметра — амперметра, если сопротивление трансформатора достаточно мало (единицы, десятки или сотни доли ома), вольтметр можно присоединить непосредственно к зажимам трансформатора, причем сопротивление проводов в цепи вольтметра не должно превышать 0,5% сопротивления самого вольтметра.

Для сравнения полученных результатов измерения с данными завода-изготовителя их необходимо привести к заводским данным, используя формулу

$$R_{\text{н}} = R_{\text{з}} \frac{235 + T_{\text{н}}}{235 + T_{\text{з}}}$$

Измеренные сопротивления обмоток различных фаз на одноименных ответвлениях не должны отличаться от средней величины сопротивления или от заводских данных более чем на 2%. Кроме того, должна соблюдаться одинаковая для всех фаз и соответствующая положениям переключателя закономерность

изменения сопротивления постоянному току в различных положениях переключателя.

**Измерение потерь х. х.** проводят на напряжении, составляющем 5—10% номинального напряжения обмотки, на которой осуществляют измерение. Желательно использовать те же обмотки и такое же напряжение, как и на заводе при проведении соответствующих испытаний. Полученные результаты сравнивают с протоколом заводских испытаний.

В трансформаторах трехстержневого исполнения потери можно измерять при однофазном возбуждении, закорачивая обмотки двух других фаз (рис. 3.3). При этом выполняют три опыта, при которых напряжение подводится поочередно к каждой из фаз с одновременным закорачиванием двух других. При каждом опыте из величины измеренной мощности вычитают потери в приборах, а суммарные потери в трансформаторе находят по формуле

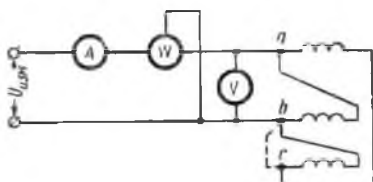


Рис. 3.3. Измерение потерь холостого хода трансформатора

$$P_0 = \frac{P_{aab} + P_{abb} + P_{aac}}{2}.$$

В исправном трансформаторе потери, измеренные при закорачивании обмотки каждой крайней фазы, одинаковы, а потери, измеренные при закорачивании обмотки средней фазы (b), на 30—40% больше. Найденную величину потерь приводят к номинальному напряжению

$$P_{0\text{нп}} = P_0 \left( \frac{U_{\text{н}}}{U} \right)^n,$$

где  $U_{\text{н}}$  и  $U$  — соответственно напряжение номинальное и напряжение, при котором выполняли измерения;  $n$  — показатель степени, равный 1,8—1,9 в зависимости от способа трансформаторной стали.

Результаты измерений сводятся в таблицу типа:

Потери х. х.

| Подведенное напряжение к фазе | Закорочены фазы | Напряжение при измерении, В | Ток, А | Потери, Вт |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------------|--------|------------|
|                               |                 |                             |        |            |

Потери и ток х. х., полученные во время измерений, не должны отличаться от соответствующих величин при заводских испытаниях более чем на 10%.

**Проверка группы соединения обмоток трансформаторов.** Группа соединения трансформатора имеет очень важное значение для параллельной работы его с другими трансформаторами. Одним из главных условий допустимости параллельной работы трансформаторов является одинаковость групп соединений обмоток.

Проверку группы соединений обмоток проще всего выполнять методом постоянного тока или фазометром. Несколько реже используется метод двух вольтметров.

Для проверки методом постоянного тока необходим поляриметр или авометр типа Ц-56, включенный на измерение малых постоянных напряжений, и аккумулятор на 2—12 В.

В качестве примера рассмотрим определение группы соединений трансформатора  $Y/\Delta - 11$  (рис. 3.4). К зажимам  $AB$  обмотки высшего напряжения подводят постоянный ток, а к зажимам  $ab$ ,  $bc$ ,  $ac$  низшего напряжения поочередно присоединяют прибор постоянного тока. Таким же образом подводят постоянный ток к зажимам  $BC$  и  $AC$ . Плюс батареи и плюс прибора подключают к полярным выводам. Рубильником кратковременно замыкают и размыкают цепь батареи и наблюдают за отклонениями стрелки прибора. В момент замыкания цепи отклонение вправо означает плюс (+), а влево — минус (—), оба эти отклонения отмечают в таблице. Каждой группе соединений соответствует своя таблица.

Рис. 3.4. Определение группы соединения трансформатора методом постоянного тока

Приводим в качестве примера две наиболее распространенные таблицы.

| Трансформатор $Y/\Delta - 11$ |      |      |      |  |
|-------------------------------|------|------|------|--|
| 1<br>2                        | $AB$ | $BC$ | $AC$ |  |
| $ab$                          | +    | —    | 0    |  |
| $bc$                          | 0    | +    | +    |  |
| $ac$                          | +    | 0    | +    |  |

| Трансформатор $Y/Y - 12$ |      |      |      |  |
|--------------------------|------|------|------|--|
| 1<br>2                   | $AB$ | $BC$ | $AC$ |  |
| $ab$                     | +    | —    | +    |  |
| $bc$                     | —    | +    | +    |  |
| $ac$                     | +    | +    | +    |  |

Примечание. 1, 2 — соответственно выводы на стороне высшего и низшего напряжений.

При определении группы соединения фазометром поступают следующим образом:

обмотки фазометра подключают к линейным зажимам обмоток разных напряжений одной и той же фазы трансформатора. Необходимо при этом иметь в виду, что последовательную обмотку фазометра следует подключать через реостат, который должен ограничить ток до номинального для данного включения этой обмотки, например до 5 или 2,5 А;

полярные зажимы фазометра подключают при этом к одноименным зажимам трансформатора, например к А — а;

измерения производят не менее чем для двух фаз, например АВ — аb и ВС — bc.

При применении четырехквадратного фазометра со шкалой, отградуированной в градусах, можно непосредственно определять сдвиг между первичным и вторичным напряжением.

Предусмотренный ГОСТ 3484—65 метод двух вольтметров на месте монтажа не всегда применим из-за колебаний напряжения.

*Проверка коэффициента трансформации.* Коэффициент трансформации силовых трансформаторов определяют для проверки соответствия его паспортным данным и правильности подсоединения ответвлений обмоток к переключателям. В практике наладочных работ для этого используют метод двух вольтметров.

По этому методу к одной из обмоток трансформатора подводят напряжение и двумя вольтметрами одновременно измеряется как подводимое напряжение, так и индуцированное на вторичной обмотке. Подводимое напряжение должно быть симметричным (если используется трехфазная сеть) и может находиться в границах от одного до нескольких десятков процентов номинального, но ни в коем случае не должно превышать номинальное напряжение, так как возможен режим насыщения, грубо искажающий истинную величину коэффициента трансформации. Учитывая, что в условиях строительства трудно получить трехфазное симметричное напряжение, измерения лучше проводить, подводя напряжение только к двум фазам трансформатора, например для случая проверки коэффициента трансформации у трехфазного трансформатора, соединенного по схеме Y/Δ, измерения осуществляют по схеме, приведенной на рис. 3.5, д. На рис. 3.5, а, б, в показаны и остальные варианты проверки коэффициента трансформации при использовании трехфазного и двухфазного линейного напряжений. Применительно к рис. 3.5, д коэффициент трансформации

$$K_{1\phi} = \frac{U_{AB}}{2U_{ab}}; \quad K_{2\phi} = \frac{U_{BC}}{2U_{bc}}; \quad K_{3\phi} = \frac{U_{AC}}{2U_{ac}}.$$

Как видно из рис. 3.5, г, для трансформатора Y<sub>0</sub>/Δ закорачивания одной фазы уже не требуется.

Коэффициент трансформации проверяют на всех ответвлениях и для всех фаз. Значение его не должно отличаться более чем на 2% от коэффициента трансформации, полученного на том же ответвлении на других фазах, или от соответствующих заводских данных.

**Фазирование трансформаторов.** Под фазированием понимают проверку совпадения фаз у двух трансформаторов, включаемых на параллельную работу.

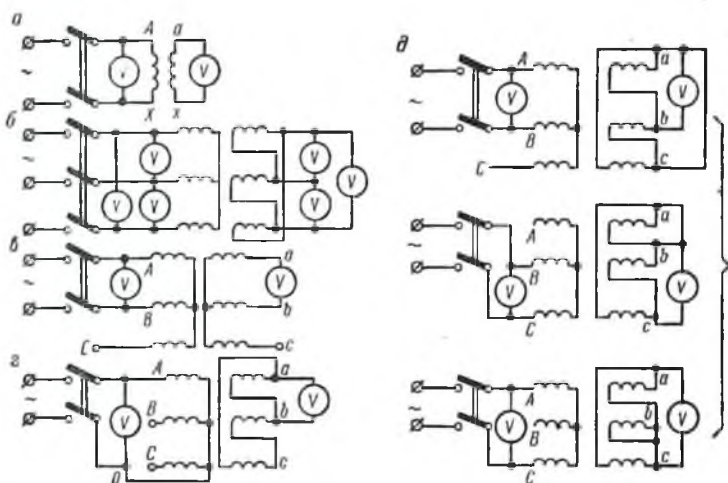


Рис. 3.5. Схемы измерения коэффициента трансформации силовых трансформаторов:

*а* — однофазных; *б* — трехфазных по трехфазной схеме возбуждения; *в* — трехфазных с соединением обмоток «звезда-звезда» по однофазной схеме возбуждения; *г* — трехфазных с соединением обмоток «звезда» с нулевым выводом — «треугольник» по однофазной схеме возбуждения; *д* — трехфазных с соединением обмоток «звезда — треугольник» по однофазной схеме возбуждения

Как правило, фазирование выполняется на низшем напряжении трансформаторов. На обмотках напряжением до 380 В фазирование производят вольтметром, для обмоток до 10 кВ — указателями напряжения, для 20 кВ и выше — через измерительные трансформаторы напряжения.

Необходимо учитывать, что конструкция КРУ и КРУН на 6 кВ не позволяет удобно и безопасно выполнять фазирование непосредственно в распределительных ящиках. В этих случаях тоже приходится использовать измерительные трансформаторы напряжения. Приступая к работе, предварительно проверяют фазирование самих трансформаторов напряжения подачей на них напряжения от одного источника, при этом секции, на которых находятся трансформаторы напряжения, соединяют между собой через соединительный масляный выключатель.

После окончания проверки трансформаторов напряжения секционный масляный выключатель отключают и на вторую секцию напряжение включают от второго силового трансформатора. При нулевых показаниях вольтметра между ранее сфазированными фазами трансформаторов напряжения предварительная фазировка силовых трансформаторов считается выполненной правильно и работы на этом оканчиваются. Следует только иметь в виду, что при фазировании трансформаторов с изолированной нейтралью предварительно необходимо соединить между собой любые два вывода фазирзуемых обмоток (по одному от каждого трансформатора).

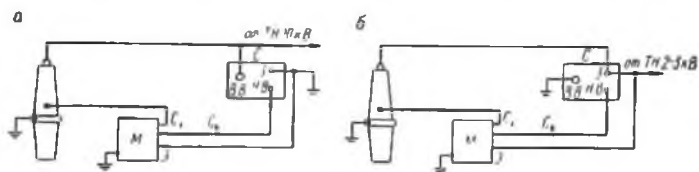


Рис. 3.6. Схемы для измерения диэлектрических потерь вводов:  
а — нормальная; б — перевернутая

**Испытание вводов и проходных изоляторов.** Предварительно внешним осмотром проверяют целостность фарфоровой изоляции, состояние уплотнений, качество мастики и отсутствие течи масла из маслonaполненных вводов. Объем испытаний нормируется ПУЭ [14], в него входит:

- измерение сопротивления изоляции мегомметром на 2500 В;
- определение тангенса угла диэлектрических потерь;
- испытание повышенным напряжением промышленной частоты;
- испытание трансформаторного масла из маслonaполненных вводов.

Измерение сопротивления изоляции выполняют общепринятыми методами. При вводах с бумажно-масляной изоляцией необходимо проверить сопротивление изоляции последних обкладок относительно соединительной втулки ввода. Величина сопротивления должна быть не менее 1000 МОм.

Тангенсы угла диэлектрических потерь вводов определяют при положительной температуре мостом МД-16 по перевернутой и нормальной схемам, показанным на рис. 3.6, до установки вводов на трансформатор. Аналогично вышеописанному поступают в тех случаях, когда  $\text{tg } \delta$  необходимо проверить у вводов эксплуатируемого трансформатора. Нормы для соответствующих случаев испытаний указаны в табл. 3.9.

Измерение сопротивления изоляции обмоток и доступных стяжных болтов проводят только у трансформаторов, подвергающихся ревизии при вскрытии активной части. Проверку осуществляют мегомметром на 1000—2500 В. Проверяя изоляцию балок

Предельные значения  $\lg \delta$ , %, вводов и проходных изоляторов

| Объект испытания и тип основной изоляции            | Номинальное напряжение, кВ |       |        |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|-------|--------|
|                                                     | 3—15                       | 20—35 | 60—110 |
| Маслонаполненные с маслобарьерной изоляцией         | —                          | 3     | 2      |
| То же, после установки на трансформатор             | —                          | 8     | 5      |
| Маслонаполненные с бумажно-масляной изоляцией       | —                          | 1     | 1      |
| То же, после установки на трансформатор             | —                          | —     | 1,5    |
| Маслонаполненные с бакелитовой изоляцией            | 3                          | 2,5   | 2      |
| Вводы и проходные изоляторы с бакелитовой изоляцией | 3                          | 2,5   | 2      |

ярма, следует предварительно отсоединить проводники, соединяющие магнитопровод с заземленными частями трансформатора. Остальную часть работы выполняют по обычной схеме. В Правилах, кроме того, требуется еще испытать изоляцию повышенным напряжением 1000 В в течение 1 мин, однако, если измерения производились мегомметром 2500 В, то проводить испытания не нужно.

При ревизии трансформаторов, находящихся на открытом воздухе, необходимо учитывать окружающую температуру, так как холодный влажный воздух может быстро ухудшить состояние изоляции стержневой обмотки. Это происходит вследствие конденсации водяных паров и осаждения их в виде капелек росы. Как известно, подобное явление обычно происходит при соприкосновении теплого влажного воздуха с более холодной поверхностью и при охлаждении воздуха до точки выпадения росы.

Оба эти случая могут встретиться в практике ревизий, если трансформаторы перед ревизией длительно находились в отключенном состоянии. Например, в осеннее время ночью трансформатор может охладиться даже до минусовой температуры. Вскрытый днем, когда температура влажного воздуха будет значительно выше, он быстро впитает в себя влагу из окружающей среды, поэтому, осуществляя ревизию, необходимо не только учитывать температуру окружающей среды и ее влажность, но и принять специальные меры по предварительному подогреву активной части, а в процессе ревизии следить за температурой активной части, обеспечивая превышение ее над температурой окружающего воздуха минимум на 10—15° С. В табл. 3.10 даны условия, при которых допускается вскрытие активной части трансформатора на открытом воздухе или в неотапливаемых влажных помещениях.

Как видно из приведенных данных, условия вскрытия активной части трансформатора в основном зависят от степени влажности воздуха, определяемой контактным или аспирационным психрометром.

Условия открытия активной части трансформатора

| Температура окружающего воздуха, °C |                                                                                                                           |                                                                                                                           |          |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Место осмотра                       | Класс напряжения, обмотки ВН и номинальная мощность                                                                       | Относительная влажность окружающего воздуха, %                                                                            |          |                                                                                                                                                                     | исходящего от температуры                                                                                                    | дождь, туман                                                                                                                                                       |
|                                     |                                                                                                                           | +20 и более                                                                                                               |          | ниже 0                                                                                                                                                              |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                    |
|                                     |                                                                                                                           | менее 65                                                                                                                  | менее 75 |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                    |
| В помещении<br>То же                | До 35 кВ включительно, менее 10 000 кВ·А<br>То же, но мощностью 10 000 кВ·А и более; 110 кВ и выше независимо от мощности | Без прогрева, если температура активной части не ниже температуры окружающего воздуха<br>То же                            |          | Прогрев трансформатора до температуры +20 °C в верхних слоях масла; без масла — до температуры на верхнем ярусе, поддерживаемой и продолженной всего осмотра +10 °C | Прогрев и поддержание температуры активной части на верхнем ярусе выше температуры окружающего воздуха не менее чем на 10 °C | Допускается при поддержании температуры воздуха в помещении или температуры активной части не менее 10 °C выше положительной температуры воздуха<br>Не допускаются |
|                                     |                                                                                                                           | До 35 кВ включительно, менее 10 000 кВ·А<br>То же, но мощностью 10 000 кВ·А и более; 120 кВ и выше независимо от мощности |          | Прогрев и поддержание температуры активной части на верхнем ярусе выше температуры окружающего воздуха на +10 °C<br>То же                                           |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                    |
| Вне помещения<br>То же              | До 35 кВ включительно, менее 10 000 кВ·А<br>То же, но мощностью 10 000 кВ·А и более; 120 кВ и выше независимо от мощности |                                                                                                                           |          |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                    |

Продолжительность пребывания выемной части на воздухе тоже зависит от влажности окружающего воздуха, например для трансформаторов напряжением 35 кВ и мощностью до 10 000 кВ·А она не должна превышать 24 ч при относительной влажности окружающего воздуха до 65%, 16 ч при 75% и 12 ч при более 75%.

Если температура активной части трансформатора будет поддерживаться на 10—15° С выше температуры окружающего воздуха, приведенные сроки могут быть увеличены вдвое. За начало вскрытия принимают момент открытия крышки бака или любого люка для осмотра. Условием окончания работ является закрытие последнего люка или крышки бака, т. е. момент, когда прекращается доступ окружающего воздуха к активной части трансформатора.

Аналогичные условия существуют и для остальных трансформаторов.

*Осмотр и проверка системы охлаждения.* Перед включением внешним осмотром проверяют швы и радиаторы охлаждения на предмет обнаружения течи масла. Если утечка масла отсутствует, то бак и расширитель должны быть испытаны манометрическим давлением в 0,06 кгс/см<sup>2</sup> чаще всего столбом масла в 0,6 м. Для этого на крышке бака или расширителя устанавливают трубку соответствующей длины, герметизируют пробки для выхода газов (у трансформаторов без расширителя) и заливают трубку сухим трансформаторным маслом до требуемой высоты. Время испытания — 1 мин.

Бак считается выдержавшим испытание, если уровень масла в трубке не снижается, а в швах не обнаруживается появления течи.

В некоторых случаях для трансформаторов, не залитых маслом или заполненных с оставлением промежутка воздуха под верхней крышкой, ГОСТ 3484—65 рекомендует вместо столба масла применять сжатый воздух или инертный газ. Для контроля давления устанавливают специальный манометр.

### § 3.3. ОТДЕЛИТЕЛИ, КОРОТКОЗАМЫКАТЕЛИ И РАЗЪЕДИНИТЕЛИ

Согласно ПУЭ, объем приемо-сдаточных испытаний вводимых в эксплуатацию разъединителей, короткозамыкателей и отделителей следующий:

1. Измерение сопротивления изоляции проводов и тяг, выполненных из органических материалов. Измерение выполняют мегомметром на 2500 В. Величина сопротивления изоляции должна быть не менее величин, приведенных ниже:

Номинальное напряжение, кВ Сопротивление изоляции, МОм

15—150  
220

3000  
5000

2. Измерение сопротивления изоляции многоэлементных изоляторов. Сопротивление изоляции, проверенное мегомметром на 2500 В, должно быть не менее 300 МОм для каждого элемента штыревого изолятора.

3. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты.

Изоляция, состоящая из одноэлементных опорных или опорно-стержневых изоляторов, должна быть испытана повышенным напряжением промышленной частоты. Величины испытательных напряжений приведены в табл. 3.11.

Таблица 3.11

Испытательные напряжения

| Тип изоляции изолятора | Минимальное напряжение изоляторов, кВ |     |     |     |     |
|------------------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                        | 20                                    | 35  | 110 | 150 | 220 |
| Нормальная . . . . .   | 68                                    | 100 | 265 | 340 | 490 |

Если конструктивные расстояния между токоведущими частями разъединителей недостаточны, испытательное напряжение снижают на 20—30%. Для одностержневых изоляторов испытание повышенным напряжением необязательно.

4. Измерение сопротивления контактов постоянному току проводят для разъединителей и отделителей на 110 кВ и выше. Сопротивление не должно превышать 150% величины сопротивления, полученного при заводских испытаниях или приведенного в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Предельное сопротивление контактов

| Разъединитель  | Номинальное напряжение, кВ | Номинальный ток, А | Сопротивление, мОм |
|----------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
| РЛН            | 220—35                     | 600                | 220                |
| Остальные типы | Все напряжения             | 600                | 175                |
|                |                            | 1000               | 120                |
|                |                            | 1500—2000          | 50                 |

5. Определение времени движения подвижных частей короткозамыкателей и отделителей. У короткозамыкателей это испытание проводится при включении, у отделителей — при отключении. Измеренное время движения подвижных частей не должно отличаться более чем на  $\pm 10\%$  от данных, приведенных в табл. 3.13.

На подстанциях 35—110 кВ шахт, как правило, отсутствуют выключатели на стороне высшего напряжения, а устанавливаются

Время движения подвижных частей короткозамыкателей и отделителей

| Короткозамыкатель или<br>отделитель | Провод | Время, с, от подачи импульса до<br>момента |                                        |
|-------------------------------------|--------|--------------------------------------------|----------------------------------------|
|                                     |        | замыкания контактов<br>при включении       | размыкания контактов<br>при отключении |
| ОД-35                               | ШПО    | —                                          | 0,5                                    |
| КЗ-35                               | ШПК    | 0,4                                        | —                                      |
| ОД-110                              | ШПО    | —                                          | 0,7                                    |
| КЗ-110                              | ШПК    | 0,4                                        | —                                      |
| ОД-150                              | ШПО    | —                                          | 0,9                                    |
| КЗ-150                              | ШПК    | 0,5                                        | —                                      |
| ОД-220                              | ШПО    | —                                          | 1,0                                    |
| КЗ-220                              | ШПК    | 0,5                                        | —                                      |

специальные аппараты — короткозамыкатели и отделители. Короткозамыкатель представляет собой однопольный разъединитель с мощными контактами. Губки короткозамыкателя присоединяются к ошиповке высшего напряжения, ножи — к контуру заземления подстанции. Короткозамыкатель управляется приводом ШПК. Короткозамыкатель выключается автоматически, а отключается вручную, рычагом или через редуктор.

Нормально короткозамыкатель отключен, его включающая пружина заведена и удерживается в этом состоянии приводом. При срабатывании защиты трансформатора она воздействует на привод короткозамыкателя и разрешает включающей пружине включить пож короткозамыкателя.

В сетях с заземленной нейтралью короткозамыкатель устанавливается на одной фазе, в сетях с изолированной нейтралью короткозамыкатель выполняется двухпольным с общим приводом и устанавливается на двух фазах. При включении короткозамыкателя возникает замыкание на землю и защита питающей линии отключает повреждение. После отключения питающей линии в бестоковую паузу автоматически отключается отделитель. АПВ линии восстанавливает питание остальных потребителей.

Отделитель представляет собой трехпольный разъединитель с автоматическим управлением. Нормально отделитель включен и удерживается в таком положении приводом ШПО. Отделитель включают вручную, а отключают автоматически.

Конструкция приводов ШПО и ШПК короткозамыкателей одинакова и различается между собой главным образом набором реле, устанавливаемых в них. В приводе ШПК имеется два реле РТМ и один электромагнит — включения, работающий от независимого источника тока. В приводе ШПО устанавливается специальное блокирующее реле БРО и один электромагнит отключения для работ от независимого источника тока.

Кинематическая схема привода ШПК во включенном положении приведена на рис. 3.7. На валу привода 1 укреплен рычаг 14; на переднем конце вала свободно вращается заводящий рычаг 11 с защелкой 12. Для включения на переднюю часть заводящего рычага, имеющую квадратную форму, надевается съёмная рукоятка (или большая шестерня при применении редуктора). Рукоятка поворачивается влево и заводящая защелка захватывает рычаг 14, находящийся в это время в левом крайнем положении. Затем

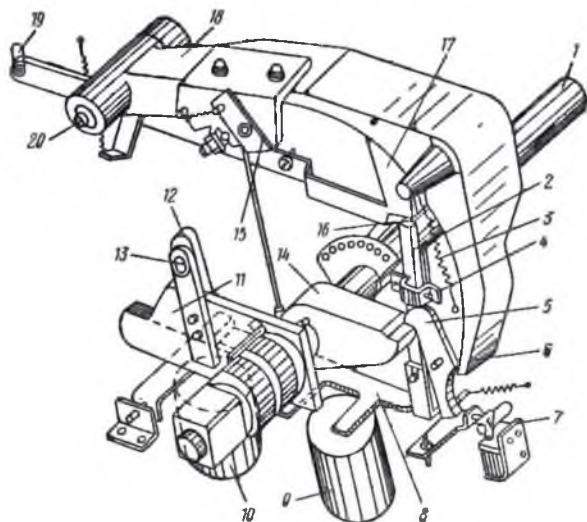


Рис. 3.7. Кинематическая схема привода ШПК

рукоятка поворачивается вправо; защелка 12 ведет рычаг 14, а вместе с ним и вал привода на включение. В конце хода на включение рычаг 14 захватывается удерживающей защелкой 5, и привод запрягается в положение «Включено». Одновременно рычаг 11 своим роликом 13 захватывает планку 15 серповидного рычага и поднимает его. Левый конец планки 15 тягой 19 передвигает блок-контакты КСА (на рисунке не показаны).

При подъеме серповидного рычага под его зуб 17 подходит ролик 16, ось которого укреплена на удерживающей стойке 2. Стойка устанавливается в нужное положение пружиной и удерживает серповидный рычаг в заведенном положении.

Для отключения подается оперативный ток в обмотки электромагнитов 9, 10. Бойки их ударяют по лапкам отключающей планки 8. Планка поворачивается и винтом 6 ударяет по прившему концу удерживающей стойки 2, которая поворачивается на своей оси 4, и ролик 16 выкатывается из-под зуба серповидного рычага

18. Под действием своего веса и пружины 3 рычаг 18 поворачивается на своей оси 20 и правым концом ударяет по нижней части удерживающей защелки 5. Защелка поворачивается и освобождает рычаг 14 и вал привода.

Пружины, встроенные в корпус короткозамыкателя или отделителя, поворачивают их ножи. Демпфер 7 гасит излишнюю энергию падающего серповидного рычага.

Описанный привод является упрощенным вариантом привода ПГ-10, снятого с производства. Выпускаются также приводы ШПОМ и ШПКМ (упрощенный вариант привода ППМ-10) и имеющие некоторые конструктивные различия с приводом ШПО и ШПК.

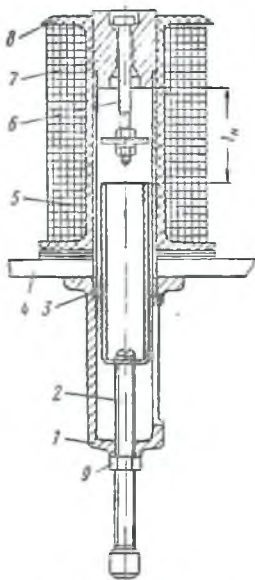


Рис. 3.8. Конструкция реле РТМ

Конструкция реле РТМ показана на рис. 3.8. На каркасе 8 расположена обмотка 5 реле. Внутри каркаса установлена латунная гильза 3, укрепленная в оправе 1. Оправа крепится винтами к нижней полке 4 привода. Внутри гильзы помещается трубчатый сердечник, поддерживаемый винтом 2. В верхней части гильзы укреплен стопор 7, в отверстии которого проходит боек 6, опираясь своей головкой на края отверстия стопора.

Изменение тока срабатывания реле РТМ производится изменением начального расстояния  $l_n$  между стопором и сердечником, вывертыванием или ввертыванием винта 2. После установки нужного тока срабатывания винт закрепляется гайкой 9. При увеличении тока в обмотке реле сердечник притягивается к стопору 7

и ударяет по диску бойка 6. Боек вместе с сердечником поднимается и своей головкой поворачивает отключающую пластку привода, который переходит в положение «Отключен».

Конструкция отключающего электромагнита привода ШПО приведена на рис. 3.9. Обмотка 3 размещена на каркасе 8. Внутри каркаса на гильзе 5 укреплен стопор 1; гильза удерживается шайбой 11, которая крепится к нижней полке привода 12, фасонной шайбой 9 и винтами 10. Трубчатый сердечник 4 нижним концом опирается на чашечку 6, которая крепится той же шайбой 9; сердечник 4 верхним концом двигает боек 2 с диском 13, свободно висящим в отверстии стопора 1. Внутри трубчатого сердечника установлена кнопка 7 для ручного отключения: при нажатии на нее снизу она поднимает боек, который производит отключение.

Конструкция реле БРО показана на рис. 3.10. При отключенном положении привода отделителя ШПО механизм завода реле БРО сжимает отключающую пружину 1 и в таком состоянии она запирается системой рычагов 18, 19, 20, которые нажимают на ролик 2. Внутри пустотелого сердечника 13 реле помещается пружина 12, упирающаяся в стопор 9. Стопор крепится к гильзе 7, укрепленной в оправе 16, а оправа — к полке 14 привода. В нижней части сердечника имеются палец 5—6, проходящий через отверстие в рычаге 17, вращающемся на оси 15. Под действием пружины 12 и собственного веса сердечника левый

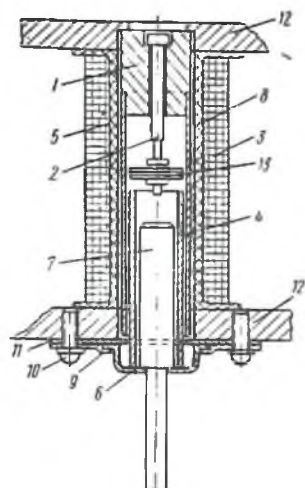


Рис. 3.9. Конструкция отключающего электромагнита

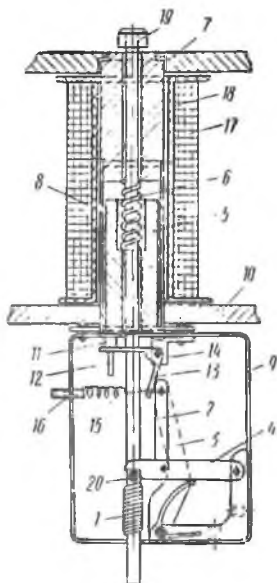


Рис. 3.10. Конструкция реле БРО

конец рычага 17 стремится повернуться вниз. Этому препятствует возвратная пружина 3, натяжение которой регулируется винтом 4. Таким образом, нормально сердечник находится в равновесии под действием пружины 12, 3 и своего веса.

Обмотка 11 реле, помещенная на каркасе 10, подключается к вторичной обмотке трансформатора тока ТШЛ-05, установленного в цепи короткозамыкателя.

После включения защиты поврежденного трансформатора короткозамыкателя вторичный ток к. з. проходит по обмотке БРО и сердечник 13 реле, притягиваясь к стопору 9, сжимает свою пружину 12. В таком положении сердечник остается до отключения питающей линии своей защитой. После отключения линии и исчезновения тока сердечник 13 под действием своего веса и пружины 12 с силой опускается и пальцем 5—6 ударяет по рычагу 17, преодо-

левая усилен возвратной пружины 3. Рычаг 17 поворачивается и освобождает систему ломающихся рычагов 18, 19, 20, которые, в свою очередь, освобождают отключающую пружину 1, она толкает боек 8 реле вверх, ударом по лапке отключающего валика переводит привод в положение «Отключен» и разрешает отключающим пружинам отделителя повернуть его ножи.

Перед вводом в эксплуатацию производят наладку механизмов приводов и встроенных в них реле и электромагнитов. Привод разбирают с выемкой вала и разборкой реле. Детали очищают от заводской смазки и промывают бензином. Проверяют исправность всех деталей. При сборке детали смазывают. Применяют смазку ЦИАТИМ-201 по ГОСТ 6267—59, смешанную с 10% по весу с графитом марки П.

Обращают внимание на правильную установку отключающей планки, которая должна свободно вращаться. Продольное перемещение планки должно быть 1—1,5 мм. Положение планки регулируют незначительными поворотами винта, в котором эксцентрично укреплен один из пальцев. После установки планки в нужное положение этот винт закрепляется контргайкой.

Серповидный рычаг должен плотно сидеть на оси, не качаясь. В то же время он должен свободно вращаться на своей оси.

После сборки испытывают работу механизмов привода и отделителя (короткозамыкателя):

при медленном ручном включении привода (см. рис. 3.7) проверяют захват защелкой 12 рычага 14, доведение его до включенного положения, захват рычага 14 защелкой 5 и надежность удерживания его во включенном положении;

убеждаются в том, что пружина реле БРО заведена и механизм завода реле БРО не препятствует движению бойка;

проверяют положение ножей отделителя или короткозамыкателя. Ножи должны полностью доходить до своего конечного положения;

убеждаются в том, что наружный рычаг (на рис. 3.7 не показан) выходного вала привода установлен под углом  $12^\circ$  к вертикали (во избежание мертвой точки) и надежно заштифован;

обстучивая привод, убеждаются, что серповидный рычаг не срывается и привод не отключается;

у отделителя ножи должны заходить на средние полюса за мертвую точку на 5 мм. Зазор между торцами ножей должен быть в пределах 1—3 мм и устанавливается введением прокладок между фланцами изоляторов;

проверяют работу привода и его механизма на отключение. При медленном подъеме сердечников реле и электромагнитов от руки серповидный рычаг должен четко освободиться и сбивать защелку 5. Привод переходит в положение «Отключено». Ножи отделителя должны развернуться в одну сторону относительно оси полюса на угол  $90 \pm 1^\circ$ . Поворот колонок регулируют намене-

нием длины тяг отделителя за счет резьбовых соединений с вилками и накладками;

нож короткозамыкателя должен полностью войти в губки без сильного удара об ограничитель движения и без отскакивания. Иногда серповидный рычаг падает, но защелку не сбивает. Необходимо устранить возможные задерживания, чрезмерные трения в механизме привода, установить более мощную пружину 3 серповидного рычага;

производят регулирование контактного давления в ламелях ножей отделителя натягом гаек ламелей. Вытягивающее усилие шпны, равной толщине ножа, должно быть 16—18 кгс на пару

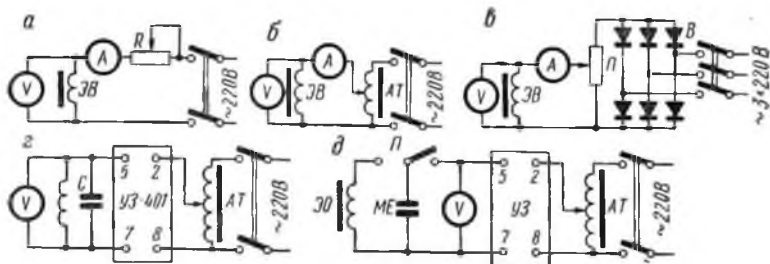


Рис. 3.11. Схемы проверки электромагнитов:

а — токовых; б — переменного напряжения; в — постоянного тока; г — работающих от конденсаторов; д — для определения емкости срабатывания

ламелей для отделителей с номинальным током 600 А и 18—20 кгс с током 1000 А. Осматривают фарфоровые изоляторы, на них не должно быть видимых повреждений, после чего изоляторы испытывают на излом.

Перед испытанием тяги отсоединяют от поворотных колонок, ножи полуфаз разворачивают в противоположные стороны и между головками изоляторов фазы закрепляют динамометр с соответствующим пределом измерения.

Головки изоляторов стягивают форкопфом, и по динамометру отмечают усилие. Приложенное испытательное усилие должно составлять 60% разрушающего усилия на изоляторах. Например, для изолятора УСТ-110-400 испытательное усилие равно 240 кгс. Время испытания на излом — 15 с. После испытания тяги соединяются с поворотными колодками.

При монтаже отделителей, короткозамыкателей и разъединителей особое внимание должно быть уделено смазке трущихся частей и пружин. В качестве смазки применяется паста ГОИ-54п (ГОСТ 3276—63\*) с присадкой графита в количестве 5% общего веса смеси, которая по сравнению со смазкой ЦИПТИМ-201 (ГОСТ 6267—59 \*) меньше смывается атмосферными осадками.

После регулировки привода и соединенного с ним механизма проверяют характеристики встроенных в привод реле и электромагнитов.

Реле РТМ, работающие в схеме демультипликации в качестве электромагнита включения короткозамыкателя, проверяют по схеме рис. 3.11. Сопротивление реостата в этой схеме должно быть настолько велико, чтобы увеличение сопротивления электромагнита при втягивании сердечника практически не меняло величины тока в его обмотке. Необходимо вести проверку при натяжении питания 220 В; в этом случае сопротивление реостата будет в 10—20 раз больше сопротивления электромагнита и ток в его обмотке при движении сердечника будет изменяться незначительно. Следует также отметить, что схема с реостатом обеспечивает правильную форму кривой тока в обмотке реле, близкую к спусковой.

Схема с автотрансформатором для проверки токовых реле и электромагнитов не пригодна, поскольку автотрансформатором в действительности изменяется не ток, а напряжение на реле.

Ток срабатывания определяется при плавном увеличении тока в обмотке реле и должен быть не более 80% тока срабатывания защиты, действующей на электромагнит. Ток срабатывания реле регулируется винтом 2 (см. рис. 3.8.) Винтом положения отключающей планки регулируется начальное расстояние между лапками отключающей планки и бойком реле электромагнита. Если это расстояние будет слишком мало, то боек упрется в лапку в самом начале хода сердечника и создаст дополнительную нагрузку для сердечника. Поэтому необходимо обеспечить свободный путь сердечника, чтобы он успел набрать достаточный запас кинетической энергии. Величина этого пути и определяется начальным расстоянием между бойком и лапкой отключающей планки.

Особенно важна точная регулировка для электромагнитов включения и отключения, которые работают от предварительно заряженных конденсаторов. Разряд конденсаторов очень непродуктителен, и боек такого электромагнита поворачивает отключающую планку, главным образом, вследствие запаса кинетической энергии силы сердечника.

Желательно свободный путь сердечника иметь как можно большим. Следует учитывать, что при чрезмерном расстоянии боек не достанет до отключающей планки и привод откажет в отключении.

Специальных электромагнитов для работы от предварительно заряженных конденсаторов в настоящее время промышленность не выпускает. Поэтому электромагниты в приводах отделителей и короткозамыкателей, работающие от конденсаторов, следует перемотать. По данным ВНИИЭ, проверенным практикой, наилучшие результаты дает электромагнит, имеющий 10 000 витков привода диаметром 0,27—0,31 мм.

Надежность работы электромагнитов включения и отключения проверяют (см. рис. 3.11) при 50% номинального напряжения на

входе зарядного устройства УЗ-401 или БПЗ-401 (о зарядных устройствах см. в главе 1).

У разделительных выпрямителей омметром определяют прямое и обратное сопротивления. Методом вольтметра и амперметра определяют действительную емкость заряжаемых конденсаторов. Для этого на батарею конденсаторов, отсоединенных от схемы, подают переменное напряжение не более 100 В и измеряют проходящий через нее ток. Емкость определяют по выражению

$$C = \frac{I \cdot 10^6}{314U}; \text{ мкФ,}$$

где  $I$  — ток, А;  $U$  — напряжение, В.

Минимальную емкость конденсаторной батареи, при которой надежно работает электромагнит, проверяют по схеме на рис. 3.11, при номинальном напряжении на входе зарядного устройства.

Если расхождение фактической емкости батареи и паспортной превышает 10%, необходимо батарею распаять и определить конденсатор, имеющий утечку. Реле постоянного тока, работающее от конденсаторов, на время проверки переводят на питание от переносного двухполупериодного выпрямителя (см. рис. 3.11) достаточной мощности и проверяют известными способами, как обычное реле постоянного тока. У каждого реле определяют ток или напряжение срабатывания и возврата. У двухобмоточных реле проверяют правильность включения обмоток по полярности и ток удерживания последовательной обмотки. Для каждого реле проверяют надежное срабатывание при напряжении на входе зарядного устройства 75% номинального напряжения питания.

Для реле, работающих в схеме автоматики отключения отделителя (обычно реле типа РП-251) от конденсаторов, напряжение надежной работы проверяется при 50% нормального напряжения на входе зарядного устройства. Кроме того, проверяют время срабатывания реле при 110 и 50% номинального напряжения на входе зарядного устройства. Время срабатывания этого реле должно быть в три раза больше разновременности замыкания блок-контакта КСА и ножа короткозамыкателя.

При наладке реле БРО (см. рис. 3.10) выяснилось, что многие экземпляры реле ложно работают от вибрации сердечника при прохождении через обмотку реле больших токов и просто от сотрясений привода. Если схема предусматривает отключающий электромагнит, работающий от предварительно заряженных конденсаторов в бестоковую паузу, то реле БРО нужно выводить из работы. В противном случае требуются подбор экземпляров реле и их тщательная наладка.

Электрическим секундомером ПВ-53Л определяют время движений подвижных частей короткозамыкателей (при включении) и отделителей (при отключении). Отклонения от данных табл. 3.13 допускаются  $\pm 10\%$ . Кроме того, у короткозамыкателей определяют разновременность замыкания блок-контакта КСА, который

замыкает цепь пуска автоматики отключения отделителей и ножа короткозамыкателя.

Измерение сопротивления силовых контактов постоянному току производят у отделителей и разъединителей на 100 кВ и выше мостом типа М-246 или методом вольтметра-амперметра. Сопротивление не должно превышать 150% сопротивления, полученного при заводских испытаниях или приведенного в табл. 3.12.

Трансформаторы ТШЛ-0,5 проверяют так же, как обычные трансформаторы тока (см. § 2.3). Следует учесть, что для трансформаторов ТШЛ-0,5 завод не указывает номинальный коэффициент трансформации, класс точности и допустимую нагрузку.

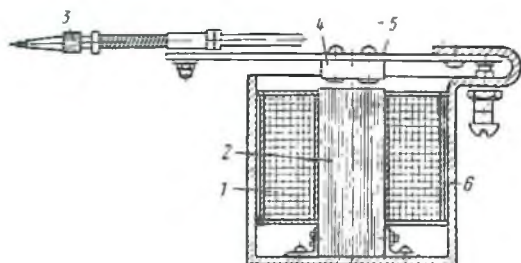


Рис. 3.12. Разрез вибрографа

По опытным данным, коэффициент трансформации примерно 300/5—350/5. Поэтому настройку всех реле, питающихся от трансформатора ТЛШ-0,5, следует производить первичным током, чтобы учесть действительную погрешность данного экземпляра и его действительный коэффициент трансформации.

Определяют скорость движения ножей отделителя. Скоростные характеристики снимают вибрационным прибором (вибрографом), показанным на рис. 3.12, который представляет собой электромагнит, состоящий из катушки 1 и сердечника 2 с легким якорем 4. Якорь укреплен на стальной пружинящей пластинке 5, закрепленной одним концом на корпусе вибрографа 6. На свободном конце пластины укреплена обойма 3 с графитовым стержнем. В обойме имеется пружина, обеспечивающая необходимое нажатие на бумагу. К катушке вибратора подводится напряжение частотой 50 Гц. Бумагу для графика прикрепляют канцелярскими скрепками к резиновой ленте толщиной около 5 мм, которая укрепляется вокруг нижнего фланца изолятора отделителя.

Полученные величины скорости необходимо пересчитать и привести к скорости движения ножа отделителя. Для пересчета вводится коэффициент  $K$ , определяющий отношение радиуса окружности, описываемой концом полуножа отделителя, к радиусу фланца изолятора.

Кривая скорости строится по шести — девяти точкам, при этом полный угол поворота головки изолятора равен  $90^\circ$ , а момент размыкания контактов ножей соответствует углу поворота головки изолятора  $15^\circ$ .

Для отделителя ОД-110 скорость движения ножей в момент размыкания контактов должна быть около 3 м/с, максимальная скорость — около 4,5 м/с. В заключение токовые цепи проверяют вторичным и первичным токами, при этом проверяют работы защиты и автоматики при 75, 100 и 110% напряжения на входе зарядного устройства.

Все схемы с заряженными конденсаторами необходимо проверить на способность конденсаторов держать заряд при отключении питания зарядного устройства. Для этого полностью заряжают конденсаторы и отключают питание зарядного устройства. Через некоторое время — 10, 20, 30 мин и т. д. от руки замыкают контакты аппаратуры, пускающие схему. Несколько попытками определяют максимальное время, в течение которого конденсаторы держат заряд, обеспечивающий работу схемы. Это время определяется главным образом величиной сопротивления изоляции самих конденсаторов и всех подключенных к ним цепей, оно должно быть достаточно большим. За это время оперативный персонал должен восстановить питание зарядного устройства.

#### § 3.4. ВЕНТИЛЬНЫЕ РАЗРЯДНИКИ

Согласно ПУЭ, вводимые в эксплуатацию вентильные разрядники подвергаются приемо-сдаточным испытаниям в следующем объеме:

1. Измерение сопротивления элемента разрядника мегомметром на 2500 В. Величина сопротивления не нормируется. Измеренные значения сопоставляют с результатами измерений аналогичных элементов пп с данными заводских измерений. Рекомендуется производить измерение с подключенным экраном.

2. Измерение тока проводимости (тока утечки). Источником постоянного тока могут служить установки АКИ-50, АИИ-7. При измерении тока проводимости производится сглаживание пульсации выпрямленного напряжения. Величину емкости сглаживающего конденсатора в схемах однополупериодного выпрямления принимают равной 0,1—0,5 мкФ. Можно использовать конденсаторы типа КБГ, силовые конденсаторы для улучшения  $\cos \phi$  и др.

Предельные величины тока проводимости элементов вентильных разрядников и величины прикладываемых при измерениях напряжений приведены в ПУЭ.

Для других типов разрядников допустимые пределы тока проводимости устанавливают согласно заводским данным. Если измерения тока проводимости проводили при температуре окружающего воздуха, отличающейся от  $+20^\circ \text{C}$ , то в результате измерения следует вводить температурную поправку. Поправочный

коэффициент для тока проводимости составляет 0,3% на каждый градус изменения температуры (по данным завода «Пролетарий»). При температуре окружающей среды выше  $+20^{\circ}\text{C}$  поправка отрицательная, при температуре ниже  $+20^{\circ}\text{C}$  — положительная.

Измерения следует проводить в сухую погоду при температуре не ниже  $5-10^{\circ}\text{C}$ .

3. Измерение пробивных напряжений при промышленной частоте. Перед испытаниями внешних разрядников проводят их внешний осмотр, проверяют, нет ли трещин на фарфоре, целы ли уплотнения, удаляют загрязнения.

Измерять пробивное напряжение разрядников, имеющих шунтирующее сопротивление (РВС, РВВС, РВС и др.), можно только специальной испытательной установкой по методике, указанной в заводской или специальной инструкции.

Допустимые величины пробивных напряжений искровых промежутков элементов внешних разрядников при промышленной частоте приведены в ПУЭ.

Для остальных типов разрядников допустимые пределы пробивных напряжений устанавливаются согласно заводским данным.

### § 3.5. ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

При испытаниях трансформаторов 35—110 кВ дополнительно к объему работ по трансформатору РУ-6-10 кВ (§ 2.3) необходимо согласно [14]:

1) определить тангенс угла диэлектрических потерь. Методика определения приведена в § 3.2. Величину  $\text{tg } \delta$  изоляции трансформатора во всех случаях, когда это возможно, определяют по нормальной схеме измерительного моста. Измерение диэлектрических потерь изоляции трансформатора типа ТФН проводят по нормальной мостовой схеме (см. рис. 3.2) с подсоединением провода  $C_x$  моста к закороченным вторичным обмоткам трансформатора. Вывод 3 трансформатора отсоединяют от корпуса и подключают к закороченным вторичным обмоткам трансформатора. Вторичные цепи перед измерениями отсоединяют и удаляют на достаточное расстояние от выводов вторичных обмоток и надежно заземляют. Максимальные значения  $\text{tg } \delta$  трансформатора (при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ ) приведены в табл. 3.14.

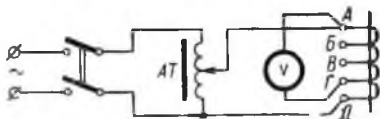
Таблица 3.14

Максимальные значения  $\text{tg } \delta$ , %

| Объект испытания                                             | Номинальное напряжение, кВ |     |         |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------|-----|---------|
|                                                              | 35                         | 110 | 150—220 |
| Маслопополненные трансформаторы с бумажно-масляной изоляцией | 2,5                        | 2   | 1,5     |
| Трансформаторы тока с бакелитовой изоляцией                  | 2,5                        | 2   | —       |

2) определить коэффициент трансформации встроенных трансформаторов тока на всех ответвлениях трансформатора). В тех случаях, когда невозможно проверить коэффициент трансформации  $K_{т.т}$  первичным током (на силовых трансформаторах с установленными вводами), применяют способ измерения распределения напряжения между отпайками (рис. 3.13). Например, если максимальный  $K_{т.т}$  600/5, на выводы  $A-D$  подается напряжение

Рис. 3.13. Схема определения отпайки встроенных трансформаторов тока



120 В и замеряется напряжение относительно полярного вывода  $A$  на остальных выводах. Коэффициент трансформации будет численно равен измеренному напряжению в вольтах. Отклонение найденного коэффициента от паспортного по [14] не нормируется;

3) испытать трансформаторное масло. Испытание проводят после монтажа для трансформаторов тока на напряжение 35 кВ и выше. Трансформаторное масло должно быть испытано в объеме [14].

# НАЛАДКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И АППАРАТУРЫ ШАХТНЫХ МЕХАНИЗМОВ

## Глава 4

### НАЛАДКА ДВИГАТЕЛЕЙ И ГЕНЕРАТОРОВ

#### § 4.1. ОБЩЕЕ ЗАМЕЧАНИЕ И СВЕДЕНИЯ

Наладку двигателей любого типа начинают с внешнего осмотра, причем предполагают, что двигатель уже смонтирован и предварительно уже прошел все наладочные работы, осуществляемые во время монтажа и касающиеся, главным образом, механической части. Эти вопросы были рассмотрены в [30]. По нашему мнению, для хорошей наладки электрической схемы любой машины, а главное, режима работы, предусмотренного проектом, наладчик должен знать не только электрическую часть машины, но и ее механическую часть и полностью решать все вопросы наладочных работ, начиная от установки рамы на фундамент и кончая наладкой технологического режима после ввода машины в эксплуатацию. Только выполняя эти условия, можно наиболее грамотно использовать все возможности, заложенные в конструкции машины, и полностью выполнить требования проекта, а иногда даже улучшить некоторые его части. Поэтому, излагая дальнейший материал, мы не только будем ссылаться на упомянутую выше работу [30], но и предполагать, что наладчик хорошо знаком с наладкой механической части подъемных машин, вентиляторов и компрессоров.

Проводя внешний осмотр, необходимо выяснить соответствие двигателя проекту, наличие заводской и проектной документации и выполнение требований ПУЭ и ПТЭ [14, 15] в части:

- состояния изоляции ротора и статора;

- качества подгонки щеток и состояния контактных колец или коллектора;

- совпадения направления вращения двигателя и машины (для неревверсивных двигателей по условиям конструкции их вентиляционного аппарата);

- качества уплотнений в подшипниках и полумуфтах;

- правильного расположения стали статора и ротора относительно друг друга и нормальной величины осевого разбега;

- наличия и состояния защитного заземления;

- наличия наладочной документации, относящейся к наладке механической части двигателя, выполненной в процессе его монтажа и проверки изоляции двигателя от рамы и трубопроводов.

Ознакомление с проектной документацией, заводскими чертежами и инструкциями, а также наладочной документацией по

ранее выполненным работам дает возможность наладчику наметить план дальнейшей работы и наиболее рационально распределить ее последовательность. В объем этой работы обычно входит: проведение испытаний в соответствии с требованиями ПУЭ [14], измерение электромагнитных постоянных времени отдельных узлов двигателя, снятие соответствующих характеристик до подачи напряжения в силовые цепи и при работе двигателя на холостом ходу, проверка работы подшипников и соединительных полумуфт.

Следует отметить, что наладчик, безусловно, строит единый план работы, куда входят и работы по наладке схемы управления, а также технологического режима работы машины, однако с точки зрения удобства изложения материала эти работы будут рассмотрены отдельно, поэтому описывать общий план нецелесообразно.

#### § 4.2. ОБЩИЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

В стационарном горношахтном оборудовании применяют высоковольтные и низковольтные машины со значительным диапазоном мощностей, начиная от нескольких киловатт (двигатели на вспомогательных механизмах) и кончая мощностью в 3000—4000 кВт. Испытания машин в таком диапазоне мощностей и будут рассмотрены в дальнейшем. Методы испытаний и объем определяются действующими Правилами [14, 15]. Дополнительно будут рассмотрены методы испытаний, необходимость в которых возникает при наладке режимов работы двигателей, установленных на определенном типе механизма.

Методы испытаний обычно близки к предусмотренным в ГОСТ 7217—66 «Электродвигатели трехфазные асинхронные мощностью от 100 кВт и выше. Методы испытаний», ГОСТ 10169—68 «Машины электрические синхронные трехфазные. Методы испытаний», ГОСТ 10159—69 «Машины постоянного тока. Методы испытаний», ГОСТ 12379—66 «Машины электрические. Методы оценки вибраций», ГОСТ 183—66 «Машины электрические. Общие технические требования». Следует отметить, что объемы и методы испытаний, предусмотренные в ГОСТ, больше всего относятся к заводам-изготовителям и проводятся при выпуске новой продукции и поэтому не все из них являются строго обязательными для испытаний на монтажной площадке. Но так как ГОСТ выработаны в результате многолетних статистических наблюдений и наиболее полно отражают накопленный опыт изготовления и испытания двигателей, целесообразно делать минимум отступлений от методов, предложенных ГОСТ. При изложении отдельных видов испытаний будет использован порядок, предусмотренный в ПУЭ [14]:

1. Измерение сопротивления постоянному току обмоток электродвигателя или генератора производят при помощи постоянного

тока, или методом вольтметра — амперметра. Приступая к измерению, следует учитывать температуру окружающей среды и при сравнении с паспортными данными вносить поправку, причем можно использовать упрощенную формулу, так как применение точной формулы, учитывающей изменение величины коэффициента  $\alpha$ , дает результат, незначительно отличающийся от полученного по упрощенной формуле. Очень часто эта разница находится в пределах точности проведенных измерений

$$r = r_1 [1 + \alpha (t - t_1)], \quad (4.1)$$

где  $r$  — сопротивление фазы с учетом поправки на температуру, его следует сравнивать с паспортными данными;  $r_1$  — сопротивление

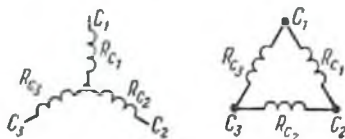


Рис. 4.1. Схема соединений обмоток при измерении омического сопротивления двигателя переменного тока

фазы, полученное при измерении;  $\alpha = 1/(K + t_1)$  — температурный коэффициент, для меди  $K = 235$  и для алюминия  $K = 245$ ;  $t$  — температура, при которой происходили измерения на заводе (принимается из паспорта двигателя);  $t_1$  — температура окружающей среды при измерении.

Измеряя окружающую температуру, необходимо руководствоваться указаниями ГОСТ 11828—66 «Машины электрические. Методы испытаний». ГОСТ предусматривает для машин мощностью до 10 кВт установку одного термометра, для машин мощностью до 100 кВт — не менее двух, от 100 до 1000 кВт — не менее трех и свыше 1000 кВт — не менее четырех. За исходную температуру принимается среднее арифметическое. Это требование обязательно только в тех случаях, когда температура обмоток отличается от температуры окружающей среды. Если же машина после отключения была в окружающей среде значительное время и температура среды за этот период изменялась в пределах  $\pm 5\%$ , то можно ограничиться измерением температуры окружающей среды.

При двенадцати выводах у машин переменного тока следует проверить сопротивление половин фаз. Полученные результаты не должны отличаться более чем на 2% от данных, указанных в паспорте. Если двигатель имеет только три вывода, то измеряют суммарное сопротивление двух фаз и при соединении в звезду результат подсчитывают по формуле

$$r_\phi = \frac{1}{2} r_u. \quad (4.2)$$

Для треугольника

$$r_\phi = \frac{3}{2} r_u. \quad (4.3)$$

Полученные данные сравнивают с паспортными, и если отклонения не превышают 2% оканчивают расчеты. При больших отклонениях сопротивление каждой фазы определяют по формулам:

$$\begin{aligned} R_{c_1} &= \frac{1}{2} (R_{c_1c_2} + R_{c_1c_3} - R_{c_2c_3}); \\ R_{c_2} &= \frac{1}{2} (R_{c_1c_2} - R_{c_1c_3} + R_{c_2c_3}); \\ R_{c_3} &= \frac{1}{2} (-R_{c_1c_2} + R_{c_1c_3} + R_{c_2c_3}); \end{aligned} \quad (4.4)$$

б) для треугольника:

$$\begin{aligned} R_{c_1} &= \frac{1}{2} \left[ \frac{4R_{c_1c_2}R_{c_2c_3}}{-R_{c_1c_2} + R_{c_2c_3} + R_{c_3c_1}} - (-R_{c_1c_2} + R_{c_2c_3} + R_{c_3c_1}) \right]; \\ R_{c_2} &= \frac{1}{2} \left[ \frac{4R_{c_1c_2}R_{c_3c_1}}{R_{c_1c_2} - R_{c_2c_3} + R_{c_3c_1}} - (R_{c_1c_2} - R_{c_2c_3} + R_{c_3c_1}) \right]; \\ R_{c_3} &= \frac{1}{2} \left[ \frac{4R_{c_1c_2}R_{c_2c_3}}{R_{c_1c_2} + R_{c_1c_3} - R_{c_2c_3}} - (R_{c_1c_2} + R_{c_2c_3} - R_{c_3c_1}) \right]. \end{aligned} \quad (4.5)$$

Если полученные результаты расходятся с паспортными данными, необходимо выяснить и устранить причину, вызвавшую появление отклонений.

У синхронных двигателей с явнополюсным ротором, кроме общего сопротивления обмотки ротора, измеряют сопротивление обмоток каждого полюса и проверяют полученный результат по формуле

$$u_k = \frac{u_p}{p}, \quad (4.6)$$

где  $u_k$  — напряжение на катушке одного полюса, В;  $u_p$  — общее измеренное напряжение на роторе, В;  $p$  — число полюсов.

Если расчетные данные отличаются от паспортных не более чем на 2%, то дальнейшие измерения прекращают. При больших отклонениях отсоединяют все подозрительные полюса и проверяют их сопротивление двойным мостом или методом вольтметра — амперметра. Определяют истинную величину отклонений, выясняют причины, вызвавшие эти отклонения, и устраняют их.

Когда измерение ведется методом вольтметра — амперметра, батарея или иной источник тока должны обеспечить силу тока не менее 20% номинальной его величины. Проводя измерения, следует помнить, что многие обмотки имеют значительную индуктивность, поэтому при размыкании цепи могут возникнуть значительные перенапряжения, опасные для жизни персонала, ведущего измерения, поэтому вольтметр отключают перед размыканием цепи. Замыкание цепи производят при отключенном вольтметре, который присоединяют после достижения током установившейся

величины. Согласно ГОСТ 11828—66, измерения методом вольтметра — амперметра выполняют три раза при разных значениях постоянного тока. Результаты измерений не должны отличаться друг от друга более чем на  $\pm 0,5\%$ . Окончательный расчетный результат определяют как среднее арифметическое всех измерений.

2. Измерение сопротивления изоляции выполняют мегомметром. В зависимости от номинального напряжения машины используют мегомметры на различные напряжения: 500 В, 1000 В и 2500 В, причем с помощью последнего очень часто проводят одновременно и испытание изоляции обмоток повышенным напряжением (двигатели напряжением 380 В и менее). Если мегомметр используют в качестве аппарата для испытания повышенным напряжением, то следует иметь в виду, что его напряжение значительно уменьшается при плохой изоляции испытываемой машины. Проверка изоляции, провод от зажима «Экран» подсоединяют к корпусу машины, провод от зажима «Л» — к испытываемой фазе. Для получения правильных результатов в качестве провода целесообразно использовать гибкие проводники типа «магнето». Проводя испытания, ручку мегомметра вращают равноускоренно до тех пор, пока частота вращения не станет равной примерно 120 об/мин. При этой частоте вращения вначале отмечают величину сопротивления изоляции после 15 с, а затем после 60 с. Измерения проводят при температуре обмоток минимум  $+10^\circ\text{C}$ , причем даже эта температура не обеспечивает устойчивых и надежных показаний. ГОСТ 183—66\* рекомендует проверять изоляцию обмоток при рабочей температуре машины или, в крайнем случае, в подогретом состоянии. Тогда сопротивление изоляции должно быть не ниже величин, определяемых по формуле

$$r = \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}}, \quad (4.7)$$

но не ниже 0,5 МОм.

Здесь  $U$  — номинальное напряжение обмотки двигателя, В;  $P$  — номинальная мощность машины, кВт·А (для машин постоянного тока кВт).

В инструкции по определению возможности включения машин переменного тока без сушки (СН-241-63) приведена таблица минимально допустимых величин сопротивления изоляции. Аналогичные данные имеются и для машин постоянного тока [27]. Все они сведены в табл. 4.1.

Если в результате проверки будет установлено, что двигатель имеет пониженную изоляцию, его следует просушить.

Сушку электродвигателя проводят непосредственно после ревизии в начале испытаний. Особенно серьезное внимание следует уделить сушке в том случае, когда машина при длительном хранении неоднократно находилась в условиях значительных колебаний окружающей температуры и влажности, т. е. влагой

Таблица 4.1

Допустимые сопротивления изоляции  $R_{60}$  при разной температуре

| U, кВ                   | Температура изоляции, °С |      |      |      |     |      |
|-------------------------|--------------------------|------|------|------|-----|------|
|                         | 10                       | 20   | 40   | 60   | 80  | 100  |
| Машины переменного тока |                          |      |      |      |     |      |
| 3—3,15                  | 35                       | 25   | 12   | 6    | 3   | 3    |
| 6—6,3                   | 75                       | 50   | 24   | 10   | 6   | 6    |
| 10—10,5                 | 125                      | 85   | 40   | 18   | 10  | 10   |
| Машины постоянного тока |                          |      |      |      |     |      |
| 0,220                   | 2,7                      | 1,85 | 0,85 | 0,4  | 0,3 | 0,22 |
| 0,460                   | 5,3                      | 3,7  | 1,75 | 0,8  | 0,5 | 0,45 |
| 0,750                   | 9,3                      | 6,3  | 2,9  | 1,35 | 0,9 | 0,75 |
| 0,900                   | 10,8                     | 7,5  | 3,5  | 1,6  | 1,0 | 0,9  |

пропитывается весь слой изоляции. При плохой сушке легко можно оставить недопустимо большое количество влаги, снизив тем самым электрическую прочность изоляции, или же пересушить ее, что вызовет преждевременное и быстрое старение.

Следует отметить, что величина сопротивления изоляции еще не характеризует количество оставшейся влаги, так как дает представление только об общем состоянии изоляции. Значительно точнее можно судить о состоянии изоляции по коэффициенту абсорбции, подсчитанному по формуле

$$K_a = \frac{R_{60}}{R_{15}}. \quad (4.8)$$

После окончания сушки величина коэффициента абсорбции, равного отношению величины сопротивления изоляции, измеряемой мегомметром в течение 60 с ( $R_{60}$ ), к величине сопротивления изоляции, измеряемой в течение первых 15 с после начала измерения ( $R_{15}$ ), должна быть не ниже 1,3 для двигателей средней мощности и 1,4 для мощных двигателей. Приведенные величины относятся к температуре изоляции в пределах 20—40° С. По СН-241-63  $k_{a \min} = 1,2$  при  $t = +10 \div 30^\circ \text{С}$ . Необходимо иметь в виду, что значение коэффициента абсорбции при повышении температуры уменьшается и, наоборот, возрастает с понижением температуры. Это обстоятельство частично объясняется перераспределением влаги в различных слоях изоляции. В качестве примера на рис. 4.2 приведено изменение коэффициента абсорбции для различных типов двигателей в зависимости от температуры.

При сушке двигателя контролируют температуру и величину сопротивления изоляции, а также коэффициент абсорбции. О температуре отдельных частей двигателя судят по показаниям

термометров, помещенных в железо статора, железо ротора, лобовые части обмотки статора и, если возможно, то и в обмотки ротора. Измерения проводят через каждый час, а коэффициент абсорбции проверяют через каждые два-три часа. Результаты измерений заносят в специальный журнал.

Двигатель можно сушить многими способами. На монтажных площадках преимущественно распространены сушка током к. з. и сушка горячим воздухом. Иногда для одной машины комбинируют оба способа. Значительно реже используют метод индукционных потерь.

Для сушки двигателей высокого напряжения током к. з. необходим источник со значительно повышенным напряжением,

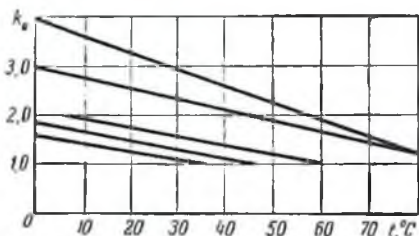


Рис. 4.2. Зависимость коэффициента абсорбции от температуры для различных типов двигателей

обеспечивающим при заторможенном роторе протекающие в обмотках тока, по величине близкого к номинальному, обычно  $(0,70-0,85) I_n$ .

Для двигателей 6 кВ чаще всего используют источник тока напряжением 380 В, а для двигателей 3 кВ — напряжением 220 В. Чтобы улучшить условия обогрева, двигатели утепляют брезентом

из асбестовой ткани или, в крайнем случае, обычным брезентом.

При сушке нагретым воздухом чаще всего используют резисторы, предназначенные для частичной подсушки во время длительных остановок, размещенные стационарно в колоде под двигателем. Иногда для увеличения количества отдаваемого тепла параллельно с ними подключают дополнительные группы резисторов. Обдув воздухом осуществляется специальным стационарным или временным вентилятором. При работе вентилятора необходимо контролировать равномерность нагрева отдельных частей или узлов двигателя, регулируя силу и направление струи горячего воздуха.

Температуру двигателя до  $70-80^{\circ}\text{C}$  следует повышать равномерно со скоростью  $3-4^{\circ}\text{C}$  в час. Продолжительность сушки зависит от эффективности обогрева и степени влажности изоляции. Сушка может считаться оконченной, если сопротивление и коэффициент абсорбции не меняются в продолжение  $3-4$  ч, а их величина удовлетворяет требованиям, приведенным ранее.

Следует отметить, что в практике встречаются случаи затяжной сушки двигателей. Иногда (очень редко) это происходит из-за ошибок, допущенных обслуживающим персоналом; например, у двигателей постоянного тока, имеющих закрытые пробками отверстия, ведущие во внутреннюю часть коллектора, забывают

вывинтить пробки. В результате влага, скопившаяся внутри коллектора, остается там длительное время, увлажняя обмотку. Вторым примером может служить случай длительного поддержания температуры обмоток на пониженном уровне (50—60° С вместо 80° С). Иногда оказывается недостаточной и температура 80° С. Такие явления наблюдались у мощных двигателей [27]. Объясняются они закупоркой влаги между отдельными слоями изоляции.

3. Испытанию электрической прочности изоляции обмоток повышенным напряжением подвергают поочередно каждую электрически независимую цепь относительно корпуса машины. При этом один полюс источника испытательного напряжения подключают к выводу испытываемой обмотки, а другой — к заземленному корпусу машины.

При наличии выводов от начала и конца каждой фазы испытание относительно корпуса машины должно быть произведено поочередно для каждой фазы с одновременным присоединением всех остальных фаз к корпусу машины. Испытательное напряжение должно быть практически синусоидальным с частотой 50 Гц. Перед испытаниями повышенным напряжением проверяют сопротивление изоляции обмоток.

Испытание начинают с напряжения, не превышающего одной трети испытательного напряжения. Подъем напряжения до полного значения испытательной величины производят плавно или ступенчатым, не превышающим 5% полного значения, при этом время, допускаемое для подъема испытательного напряжения от половинного до полного значения, должно быть не менее 10 с. Полное испытательное напряжение выдерживают в течение 1 мин, после чего плавно снижают до  $\frac{1}{3}$  наибольшей величины и отключают.

В машинах, имеющих общие точки соединения обмоток, например внутренняя звезда или треугольник, обмотку относительно корпуса испытывают одновременно всю.

Следует иметь в виду, что этот вид испытания не является обязательным. Как в ПУЭ [14], так и в ГОСТ 183—66\* отмечается, что испытания выполняют по требованию заказчика. Нормы указаны в таблицах ПУЭ и ГОСТ 183—66\*; когда между ними имеется некоторое расхождение, целесообразно отдавать предпочтение нормам ГОСТ.

Выбирая мощность испытательного трансформатора, необходимо учитывать емкость обмоток машины и мощность трансформатора

$$P_{\text{н}} = \omega C U_{\text{н}} U_{\text{и}} \cdot 10^9, \quad (4.9)$$

где  $\omega = 2\pi f = 314$  ( $f$  — частота сети, 50 Гц);  $C$  — емкость обмоток, пФ;  $U_{\text{н}}$  — номинальное напряжение трансформатора, кВ;  $U_{\text{и}}$  — испытательное напряжение, кВ.

Емкость обмоток легко определить опытным путем, используя отдельный трансформатор низкого напряжения (например, ТС для

машин переменного тока или котельной для машин постоянного тока). Схема измерений приведена на рис. 4.3. Подбирая конденсатор так, чтобы показания вольтметра  $U_2$  и  $U_3$  были близки друг к другу, измеряют величины падающих напряжений в трех точках, указанных на рис. 4.3, затем строят диаграмму и, находя графическим путем величину  $U_{3c}$ , определяют емкость по формуле

$$C_n = C_k \frac{U_2}{U_{3c}}. \quad (4.10)$$

Для измерений применяют высокоомный вольтметр с величиной сопротивления не менее 5 кОм на 1 В.

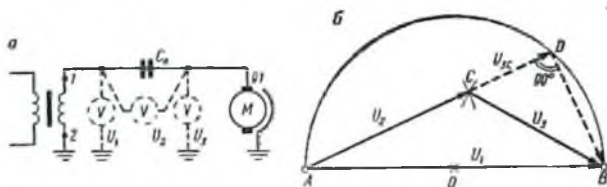


Рис. 4.3. Измерение емкости обмоток машин:

а — схема; б — векторная диаграмма

После окончания испытания любой фазы и отключения напряжения обмотку обязательно разряжают. Требования, обеспечивающие безопасность проведения испытательных работ, изложены в ПТЭ и ПБ и здесь отдельно не рассматриваются.

4. Измерение сопротивления изоляции подшипников предусмотрено Правилами [14] для стояков подшипников двигателей и возбuditелей. Величину изоляции проверяют относительно фундаментной плиты. Эту работу выполняют в процессе монтажа и после пуска машины. Второе измерение особенно важно, потому что практика валадки и последующей эксплуатации машины показала, что наблюдается значительное количество случаев ухудшения подшипников изоляции во время работы или возникновения случайных замыканий корпуса на фундаментную плиту из-за недосмотра обслуживающего персонала. Основное количество таких случаев относится к первому пуску и предварительной эксплуатации.

Длительное протекание уравнительных токов выводит из строя не только подшипники и шейки валов двигателей, но зачастую и редукторы, причем они иногда поражаются даже сильнее. Поэтому целесообразно проверять изоляцию не только во время монтажа, но также при пуске машины и периодически во время эксплуатации. Для этого во время работы закорачивают масляные пленки подшипников и измеряют вольтметром на 3—7,5 В с малым внутренним сопротивлением напряжение  $U_2$  между концами вала двигателя (рис. 4.4). Закорачивание масляной пленки выполняют

медными щетками, накладываемыми на вал. Затем этим же вольтметром измеряют напряжение  $U_1$  между стояком изолированного подшипника и фундаментной плитой. При исправной изоляции подшипника полученный результат должен быть примерно равен напряжению между концами вала. Если же  $U_1 < U_2$ , то это указывает на ухудшение изоляции подшипника. Результаты измерений, проводимых при обкатке двигателя после его наладки, являются основными для дальнейших наблюдений.

5. Измерение воздушного зазора между железом статора и ротора при коротких статорах (до 300 мм) выполняется с одной

стороны, а при длинных — с двух сторон (от муфты и контактных колец). Согласно правилам [14] требуется только сравнить зазоры в диаметрально противоположных точках, количество мест измерения не ограничивается. Для асинхронных двигателей наиболее распространены проверки по диаметрам, расположенным в горизонтальной и вертикальной плоскостях при неподвижном роторе. Затем поворачивают ротор на  $90^\circ$  и повторяют измерения.

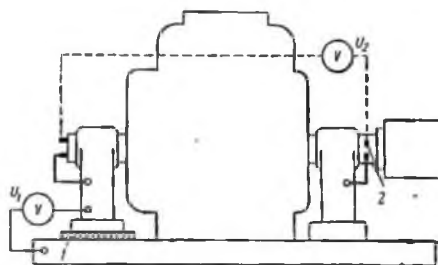


Рис. 4.4. Схема проверки изоляции подшипников  
1 — изоляция; 2 — щетка

на  $90^\circ$  и повторяют измерения.

Если полученные результаты не отличаются более чем на 10% от среднего значения, то проверку прекращают. В противном случае необходимо выяснить эллипсность ротора и статора. Для этого измеряют зазоры между железом ротора и статора относительно одной точки статора, поворачивая ротор и производя измерения через каждые  $45^\circ$  поворота, а затем относительно одной точки ротора, также поворачивая его каждый раз на  $45^\circ$ . Первые результаты дают возможность оценить эллипсность ротора, а вторые — эллипсность статора. Если полученные результаты выше допуска, следует вызвать представителей завода-изготовителя.

У синхронных двигателей с неявнополюсным ротором проверка аналогична. У явнополюсных машин измеряют зазоры у середины каждого полюса, а затем повторяют измерения, повернув ротор на  $90^\circ$ . При необходимости выяснить эллипсность статора проверку ведут относительно одного из полюсов, поворачивая ротор через  $45^\circ$ . Бесчисленные ротора выясняют, проверяя в одной и той же точке статора зазор под каждым полюсом ротора. Допуски остаются прежними.

6. Зазоры в подшипниках скольжения измеряют методом, описанным в [30]. Допуски, указанные там, также применяют,

так как они почти не отличаются от величин, предусмотренных правилами [14].

7. Проверку вибрации двигателя выполняют на месте монтажа. Чаще всего вибрацию испытывают подшипники, хотя в некоторых случаях вибрирует и статор. Наиболее распространенными причинами вибрации являются динамическая неуравновешенность ротора, плохая соосность соединяемых валов, неравномерный воздушный зазор. Изредка вибрацию вызывают составляющие магнитного потока, появляющиеся вследствие неудачного выбора шага обмотки. Остальные, довольно многочисленные причины появляются редко, по все же следует упомянуть о возможности вибрации вследствие виткового замыкания или двойного замыкания на корпус, ошибок в выполнении соединений между отдельными частями обмотки, обрыва одной из параллельных ветвей, малой жесткости корпуса статора, искривления вала, появления овальности шеек вала и т. п. Проверку вибрации на месте монтажа, после пуска двигателя выполняют в двух плоскостях (вертикальной и горизонтальной), проходящих через ось вала или в крайнем случае параллельных оси вала. Для этой цели применяют показывающие приборы: — виброметры и записывающие — вибрографы различной конструкции. Эти приборы должны быть компактными, иметь малый вес и обеспечивать:

возможность измерения вибрации в необходимых точках машины;

измеряемый диапазон частот от 5 до 100 Гц, а иногда до 150 Гц.

Вследствие широкого диапазона частот вибрации используют различные приборы, так как один прибор такого диапазона частот не измеряет.

Амплитуда вибрации действующими правилами строго не нормируется. В Правилах [14] указывается, что при частоте вращения 3000 об/мин амплитуда вибрации подшипников не должна превышать 50 мк, при 1500 об/мин — 100 мк, при 1000 об/мин — 130 мк и при 750 об/мин и ниже — 160 мк. В литературе имеются ссылки на допуски, установленные некоторыми машиностроительными заводами. Соответствующие величины вибрации стояков подшипников приведены ниже:

|                          |     |     |     |      |      |      |      |      |
|--------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Частота вращения, об/мин | 500 | 600 | 750 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 |
| Допустимая вибрация, мк  | 160 | 140 | 120 | 100  | 85   | 70   | 60   | 50   |

8. Проверка работы двигателя на холостом ходу сводится к проверке тока холостого хода. К статору асинхронного двигателя подводят практически синусоидальное напряжение промышленной частоты. Ротор после окончания разгона должен быть закорочен, нагрузка полностью отсоединена. На всех фазах измеряют ток, напряжения и мощность. Иногда ограничиваются измерением тока и напряжения. Если же по условиям наладки потребуется определить мощность холостого хода, то предвари-

тельно прогревают подшипники. Для определения сроков прогрева можно воспользоваться рекомендациями ГОСТ 11828—66, причем целесообразно принимать сроки (мин) рекомендуемые для подшипников скольжения при типовых испытаниях, а именно:

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| Для двигателей мощностью до 10 кВт . . . . . | 30  |
| » » » свыше 10 до 100 кВт . . . . .          | 60  |
| » » » » 100 кВт . . . . .                    | 120 |
| » » » » 1000 кВт . . . . .                   | 240 |

Следует иметь в виду, что при измерениях довольно часто приходится сталкиваться с неравенством токов в различных фазах. Это явление может происходить как вследствие асимметрии подводимого напряжения, так и по чисто внутренним причинам (неравномерный зазор, разное число витков в фазах, плохой контакт и пр.). Если при переключении фаз токи в фазах соответственно меняются, то его появление чисто внешнего характера, а если остаются на одних и тех же фазах, то зависит от внутренних причин. Неравенство, вызванное разным числом витков, можно обнаружить проверкой коэффициента трансформации. У синхронных двигателей подобной проверки не делают, а руководствуются данными опыта х. х. и характеристикой х. х., полученными на заводе, так как для снятия характеристики необходимо посторонний источник с регулируемым и напряжением переменного тока. Получить такой источник на месте монтажа, безусловно, невозможно.

По Правилам [14] измерять величину тока по приведенной выше методике не требуется, так как ток х. х. не нормируется, а необходимо только зафиксировать полученные величины, однако в некоторых случаях наладки этого бывает недостаточно и возникает необходимость в полном объеме проверки.

Кроме перечисленных выше методов испытаний, регламентированных действующими Правилами [14, 16], иногда приходится проводить проверку коэффициента трансформации двигателя, выяснять величину пускового тока и момента, снимать У-образную характеристику.

9. Коэффициент трансформации проверяют при отсутствии таблички на двигателе или в тех случаях, когда возникает подозрение, что фактическая величина коэффициента трансформации отличается от данных, указанных в заводской табличке. Для определения величины коэффициента трансформации к статору подводится трехфазное напряжение, равное номинальному значению для двигателей напряжением до 660 В. У высоковольтных двигателей подводимое напряжение должно составлять 10—15% номинального. Роторная обмотка на период испытания отключается от пускового реостата и остается разомкнутой. Вольтметром обычно измеряют линейные напряжения всех трех фаз

статора  $U_c$  и ротора  $U_p$  (по ГОСТ 7217—66 требуется измерение вазовых величин).

Коэффициент трансформации

$$K = \frac{U_{c_1} + U_{c_2} + U_{c_3}}{U_{p_1} + U_{p_2} + U_{p_3}}. \quad (4.11)$$

Разность между отдельными измеренными величинами, например  $U_{c_1}$  и  $U_{c_2}$  или  $U_{p_1}$  и  $U_{p_2}$ , не должна превышать 1%. Для измерения целесообразнее всего применять вольтметр с поглощаемыми щупами.

10. Снятие У-образной характеристики синхронного двигателя. Для синхронного двигателя чрезвычайно характерной является зависимость тока в обмотке статора  $i_0$  от тока возбуждения  $i$  при номинальном напряжении и постоянной нагрузке или отсутствии нагрузки, т. е. активной мощности, близкой к нулю. Снятая в таких условиях кривая по своей форме напоминает букву У.

Приступая к проведению опыта, подключают приборы для измерения тока статора, тока возбуждения ротора и напряжения статора. Уменьшая ток возбуждения до минимума (практически пределом уменьшения тока возбуждения служит зона выпадения двигателя из синхронизма), записывают показания всех приборов. Аналогичные записи делают, повышая постепенно ток возбуждения ротора, причем верхней границей будет ток возбуждения  $i = (1,3 - 1,4) i_n$ . После обработки полученных данных строят зависимость  $i_c = f(i)$ . Полученная форма кривой объясняется тем, что при педовозбуждении машина работает, потребляя реактивную энергию из сети, т. е. создает индуктивную нагрузку, а при перевозбуждении переходит в емкостной режим, отдавая реактивную энергию в сеть.

11. Измерение величины пускового тока. Величину пускового тока у короткозамкнутых и синхронных двигателей проверяют при наладке защит для отстройки их от ложных срабатываний. Обычно при отстройке защит руководствуются сведениями о пусковом токе, приведенными в каталогах, однако в некоторых случаях каталожные данные значительно расходятся с фактическими величинами, и для правильной отстройки защиты от ложных срабатываний целесообразно снять осциллограмму пускового тока. Попутно снимают и кривую скорости двигателя, так как с ее помощью можно с достаточной для практики точностью построить кривую пускового момента. Если для снятия осциллограмм используют осциллограф с шириной пленки 25 мм, то при обработке осциллограмм для повышения точности целесообразно пользоваться фотоувеличителем, правда, кривые в этом случае становятся несколько толще и это вносит дополнительную погрешность, но в целом работа получается более точной. Значительно лучше для этих целей использовать осциллографы, работающие с применением фотобумаги, например типа Н-700. Высота

кривой может быть увеличена до 100 мм, а толщина линии остается очень маленькой.

Измеряя показывающим прибором класса 0,5 ток в установившемся режиме  $I_y$ , вычисляют пусковой ток

$$I_n = I_y \frac{A}{a},$$

где  $A$  — амплитуда тока в период пуска;  $a$  — амплитуда тока в установившемся режиме.

Обе амплитуды измеряют на одной и той же осциллограмме, причем измерение силы тока по показывающему прибору в установившемся режиме тоже необходимо осуществлять во время этого осциллографирования. Величина пускового момента

$$M_t = m \frac{\Delta n_t}{\Delta t_t} r, \quad (4.12)$$

$$\Delta n_t = n_t \frac{\Delta h_t}{h_t}; \quad n_t = \frac{h_t}{h} n,$$

где  $m$  — масса ротора, приведенная к валу двигателя. Массу можно принимать на основании каталожных данных или вычислять из опыта свободного выбега, кг·с<sup>2</sup>/м;  $\Delta n_t$  — изменение частоты вращения, соответствующее изменению скорости  $\Delta h_t$  (из осциллограммы), м/с;  $r$  — радиус ротора двигателя, м;  $n_t$  — частота вращения двигателя в момент времени  $t_t$ , об/мин;  $\Delta h_t$  — изменение скорости за время  $\Delta t_t$ , м/с;  $h_t$  — скорость двигателя в момент времени  $t_t$ , м/с;  $n$  — частота вращения двигателя, об/мин;  $h$  — высота осциллограммы скорости, соответствующая номинальной частоте вращения.

Строя зависимость  $M_t = f(n_t)$ , получают кривую момента во время пуска двигателя. Эта кривая может потребоваться для применения двигателя при определенном режиме пуска агрегата, исходя из условий длительности разгона или допустимости ускорений, получаемых в процессе разгона после соединения двигателя с механизмом.

#### § 4.3. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Наладку машин постоянного тока начинают с проведения ревизии и осмотра механической части. Ревизию проводят в следующей последовательности:

очищают от пыли и грязи все узлы. Тщательно осматривают состояние изоляции и крепящих устройств. Проверяют плотность посадки обмоток на полюса, степень затяжки болтов, крепящих полюса, качество крепления щеткодержателя и маркировку выводов. Маркировка должна соответствовать требованиям ГОСТ 183—66\* (табл. 4.2).

Маркировка выводов у машин постоянного тока

| Наименование выводов обмоток                           | Обозначение выводов |        |
|--------------------------------------------------------|---------------------|--------|
|                                                        | Начало              | Конец  |
| Обмотка якоря . . . . .                                | Я1                  | Я2     |
| Компенсационная обмотка . . . . .                      | К1                  | К2     |
| Обмотка добавочных полюсов . . . . .                   | Д1                  | Д2     |
| Последовательная обмотка возбуждения . . . . .         | С1                  | С2     |
| Параллельная обмотка возбуждения . . . . .             | Ш1                  | Ш2     |
| Пусковая обмотка . . . . .                             | П1                  | П2     |
| Уравнительный провод и уравнительная обмотка . . . . . | У1                  | У2     |
| Обмотка особого назначения . . . . .                   | 01; 03              | 02, 04 |
| Независимая обмотка возбуждения . . . . .              | Н1                  | Н2     |

Если в машине имеется несколько обмоток одного наименования, то их начала и концы после буквенных обозначений должны иметь цифровые обозначения: 1—2, 3—4, 5—6 и т. д.;

осматривают коллекторные пластины и щетки. Поверхность коллектора не должна быть шероховатой. Следует иметь в виду, что кратковременное улучшение коммутации при шероховатой поверхности (после зачистки пемзой) всегда, в конечном счете, приводит к еще большему ухудшению коммутации. Лучше всего коллектор тщательно отшлифовать, предварительно проверив, нет ли бисения. Для проверки необходимо использовать индикатор с цепой деления 0,01 мм, допуски даны в табл. 4.3 [27].

Если состояние коллектора требует проточки, то после выполнения всех операций и повторной проверки бисения тщательно осматривают и при необходимости зачищают дорожки между пластинами. Слюда должна быть удалена от поверхности коллектора на 1—2,5 мм, а края пластин не должны иметь заусенцев (рис. 4.5) или острых углов. Оканчивают работу шлифовкой поверхности коллектора и контролем за состоянием поверхности при первом пробном пуске. В этот период для образования первой хорошей

Таблица 4.3

Допустимая величина бисения коллектора

| Диаметр коллектора, мм | Частота вращения, об/мин | Величина бисения, мм |                     |
|------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|
|                        |                          | В холодном состоянии | В горячем состоянии |
| До 250                 | До 3000                  | 0,02                 | 0,04                |
| 250—350                | 750—2000                 | 0,02                 | 0,04                |
| 350—600                | 600—1250                 | 0,03                 | 0,05                |
| 600—900                | 500—850                  | 0,03                 | 0,06                |
| 900—1500               | 450—700                  | 0,04                 | 0,07                |
| Свыше 1500             | До 400                   | 0,04                 | 0,07                |

коллекторной пленки синеватого цвета можно нанести на предварительно слегка нагретый коллектор тонкий слой парафина;

осматривают и регулируют щетки и щеткодержатели. Выполняя эту работу, следует убедиться, что зазор между щеткой и щеткодержателем находится в пределах 0,2—0,4 мм. Если зазор меньше, возможно заклинивание щетки в обойме щеткодержателя из-за нагрева во время работы. Установка щеткодержателей должна обеспечивать: строго параллельное положение щеток относительно коллекторных пластин, расстояние между сбегающими краями щеток соседних полюсов, равное полюсному делению, равномерное распределение щеток всех полюсов по длине коллектора. С этой целью щетки соседних полюсов несколько сдвигаются относительно друг друга (рис. 4.6), но ни одна щетка не должна выступать за край коллектора (с учетом величины осевого разбега вала) — расстояние между нижним краем щеткодержателя и коллектора должно быть в пределах 2—4 мм;

регулируют величину давления щеток на коллектор, нормально оно должно находиться в пределах 150—250 гс/см<sup>2</sup>, но лучше руководствоваться данными завода-поставщика, проверяя дилатометром истинную величину давления. Для предупреждения вибрации следует проверять жесткость и крепление пальцев к траверсе;

перед испытанием еще раз проверяют воздушный зазор между полюсами и якорем, измеряя его при одном из положений якоря под всеми полюсами. Дальнейшую проверку (при повороте якоря на 90, 180 и 270°) ведут, измеряя зазор в четырех точках. Полученные результаты сравнивают с данными, указанными в протоколе, заполненном во время монтажа машины;

проверяют положение нейтрали по меткам, сделанным заводом. В этом положении щеток реакция якоря должна быть минимальной, а коммутация безискровой, так как щетки замыкают накоротко секции обмотки якоря, расположенные вне действия главных полюсов. Сдвигая щетки с нейтрали, можно ввести в поле якоря часть (или всю) обмотки, замкнутой накоротко щетками, увеличить ток в короткозамкнутой секции и ухудшить коммутацию. Иногда заводы все же прибегают к сдвигу щеток с нейтрали, подробнее этот вопрос будет рассмотрен ниже.

После окончания предпусковой ревизии приступают к испытаниям, машины. Испытания ведут в объеме ПУЭ [14], используя методы, описанные в § 4.2. Результаты испытаний и измерений оформляют в виде протоколов и таблиц, прикладывая к ним снятые характеристики и осциллограммы.

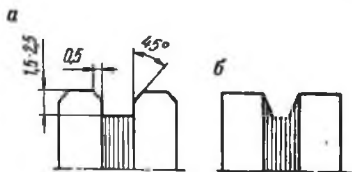


Рис. 4.5. Вид коллекторных пластин:

а — после правильной обработки; б — после неправильной обработки

Дополнительно к указаниям, сделанным в § 4.2, необходимо добавить следующее:

в процессе наладки п испытаний измеряют и подгоняют сопротивление пусковых реостатов и при необходимости снимают осциллограммы переходных процессов в обмотке возбуждения, а иногда и в главной цепи для определения постоянных времени обмоток возбуждения и якоря. Такие данные очень часто бывают необходимы при наладке систем Г—Д в шахтном подъеме. Для того, чтобы получить постоянную времени обмотки возбуждения, необходимо, отключив напряжение, замкнуть обмотку накоротко

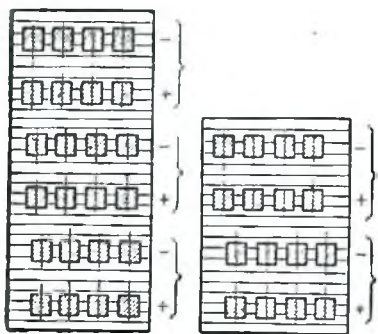


Рис. 4.6. Расположение щеток на коллекторе

и одновременно включить осциллограф, чтобы получить кривую спада тока возбуждения. Время, за которое ток уменьшится от максимума до 0,368 своей первоначальной величины, и будет постоянной времени обмотки возбуждения. Значительно труднее получить постоянную времени якорной цепи. Хотя метод в принципе может оставаться прежним, но постановка опыта осложняется тем, что якорная цепь рассчитана на очень большой ток и в то же время имеет очень маленькое омическое сопротивление, для которого даже переходное

сопротивление контактов уже имеет значение. Если пренебречь этим сопротивлением, то, подавая от генератора, питающего двигатель, напряжение, при котором через якорь заторможенного двигателя будет протекать ток в пределах 30—40% номинального, включают автомат, замыкающий цепь якоря двигателя накоротко, и через доли секунды отключают автомат главного тока, отсоединяющий генератор. Шлейф подключают непосредственно к шунту, включенному в цепь главного тока. Кроме шлейфа осциллографа к шунту ничего не подключают (рис. 4.7). Для тарирования шлейфа к шунту через кнопку подключают амперметр или милливольтметр. После того, как ток в главной цепи установится, включают осциллограф и, попеременно включая и отключая шлейф и амперметр, фиксируют на пленке ток, проходящий через шлейф, и записывают показания амперметра, затем при включенном осциллографе замыкают цепь якоря автоматом АКЗ и отключают генератор автоматом АГТ. Дальнейшая обработка осциллограммы аналогична описанной выше. Проводя этот опыт, обмотку возбуждения двигателя отключают, затем повторяют измерения со включенной обмоткой возбуждения.

Очень часто наладчика интересует не постоянная времени

якорной цепи одного двигателя, а общая постоянная времени главной цепи. В этом случае проведение опыта несколько упрощается.

Отрегулировав предварительно силу тока в обмотке возбуждения генератора так, чтобы в главной цепи при заторможенном двигателе протекал ток, примерно равный 30—40% номинального, отключают автомат АГТ, собирают схему, аналогичную той, что указана на рис. 4.7, но без автомата АКЗ, включают осциллограф и затем включают автомат АГТ. Получив на осциллограмме кривую нарастания тока в главной цепи при фиксированной величине напряжения генератора, определяют постоянную времени. Она будет равна отрезку времени, при котором сила тока в главной цепи достигнет 0,632 своей наибольшей величины в установившемся режиме. Определение масштабов тока и времени выполняют аналогично предыдущему случаю;

характеристику  $\chi$ .  $\chi$  снимают в процессе наладки машины. Обычно возникает необходимость в таких характеристиках для генераторов, работающих в системе Г—Д подъемных машин, возбуждателей для всевозможных двигателей (машины постоянного тока, синхронные машины и т. д.), машин специальных типов (ЭМУ) и вспомогательных генераторов.

Любую испытываемую машину приводят во вращение от постороннего двигателя или используемого при постоянной работе. После установления номинальной скорости начинают изменять ток возбуждения  $i_b$ , повышая его вначале от нуля до максимальной величины, требуемой по условиям работы испытываемой машины, а затем плавно снижая до тех пор, пока напряжение якоря  $U_0$  не станет равным нулю. Характеристику начинают снимать с наибольшего значения тока возбуждения. Если машина работает в реверсивном режиме, то после снижения тока возбуждения до нуля изменяют его направление в обмотке возбуждения и плавно повышают, продолжая снимать характеристику, и затем снова снижают ток до нулевого значения. Изменив опять полярность обмотки возбуждения, снова увеличивают ток до максимального значения, продолжая все время снимать характеристику. В результате после построения кривых по полученным данным определяют петлю гистерезиса; проводя пунктирную линию (рис. 4.8), получают характеристику  $\chi$ .  $\chi$ ;

если генератор на своем валу имеет возбуждатель или соединен с любой машиной (синхронный двигатель, турбокомпрессор),

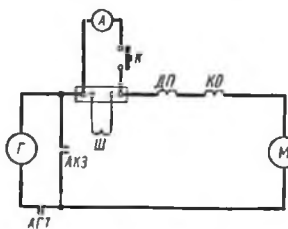


Рис. 4.7. Измерение постоянной времени якоря двигателя:

Ш — штекер осциллографа А — амперметр; ДП — дополнительные полюса, КО — компенсационная обмотка, Г — генератор; М — двигатель; АКЗ — короткозамыкатель; АГТ — автомат главного тока

необходимо проверить вибрацию всех подшипников основной и вспомогательных или приводных машин. Допуски на амплитуды колебаний остаются прежние;

проверяют коммутацию машины. Если во время испытаний под нагрузкой замечается ненормальное искрение, то исследуют причины, вызвавшие это явление, и по возможности устраняют их, а в случае необходимости вызывают представителя завода-изготовителя. Коммутацию можно оценить, руководствуясь данными ГОСТ 183—66\* (табл. 4.4). Если степень искрения коллекторных машин постоянного тока не оговорена, то она при нормальном режиме работы машины должна быть не выше  $1\frac{1}{2}$ .

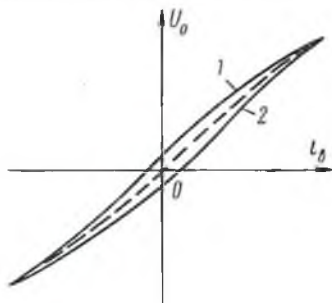


Рис. 4.8. Характеристика х.х.:

1 — начальная кривая; 2 — замыкающая ветвь

Степень искрения машины зависит как от состояния коллектора и щеток, так и от характера переходных процессов. Выше указывались общие требования к коллектору и щеткодержателям, выполняемые во время ревизии машины. В процессе испытаний дополнительно проводят следующие работы:

у машин, предназначенных для продолжительного и повторно-кратковременного режима работы, степень искрения проверяют по истечении времени, необходимого для достижения практически установившейся температуры обмоток, но не ранее, чем через 2 ч для машин мощностью до 100 кВт и не менее 4 ч для более мощных машин;

для машин, работающих в кратковременном режиме, — после нескольких циклов работы (начиная с ненагретого состояния) общей продолжительностью не менее 2 ч для машин мощностью до 100 кВт и не менее 4 ч для более мощных машин.

Если выявлена ненормальная коммутация, то прежде всего ее причины ищут в ненормальном состоянии механической или электрической части.

Причины механического характера, вызывающие плохую коммутацию, чаще всего бывают следующими:

неверное расстояние между щетками отдельных полюсов. Для проверки коллектор обертывают полоской бумаги и острым карандашом отмечают сбегающую сторону щетки каждого полюса. Отклонение в расстояниях более чем на 1 мм считается недопустимым и устраняется;

плохое прилегание щеток к коллектору (ранее были даны рекомендации по устранению подобных причин);

загрязнение коллектора щеточной пылью. Это чаще всего возникает во время эксплуатации, но иногда бывает следствием плохой

Оценка коммутации машины постоянного тока

| Степень<br>пскреппя<br>(класс<br>коммутации) | Характеристика степени искреппя                                                                                                                                                                                                                                               | Состояние коллектора и щеток                                                                                                               |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                            | Отсутствие пскреппя (темная коммутация)                                                                                                                                                                                                                                       | Отсутствие почернения на коллекторе и пагара на щетках                                                                                     |
| $1 - \frac{1}{4}$                            | Слабое точечное пскреппе под небольшой частью щеток                                                                                                                                                                                                                           | То же                                                                                                                                      |
| $1 - \frac{1}{2}$                            | Слабое пскреппе под большей частью щеток                                                                                                                                                                                                                                      | Появление следов почернения на коллекторе, легко устраняемых протираппем поверхности коллектора бензппном, а также следов пагара на щетках |
| 2                                            | Искреппе под всем краем щетки. Допускается только при кратковременных толчках пагрузки и перегрузки                                                                                                                                                                           | Появление следов почернения на коллекторе, не устраняемых протираппем поверхности коллектора бензппном, а также следов пагара на щетках    |
| 3                                            | Значительное пскреппе под всем краем щетки с наличием крупных и вылетающих искр. Допускается только для моментов прямого (без реостатных ступеней) включения или реверспрования машины, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы | Значительное почернение на коллекторе, не устраняемое протираппем поверхности коллектора бензппном, а также подгар и разрушение щеток      |

проведенной предмонтажной ревппии. Осматривая коллектор, его продувают в осевом направлении, а иногда и промывают.

Плохая коммутация, вызванная причинами электрического происхождения, чаще всего относится к следующим случаям: смещение щеток с нейтрала. Это можно выявить, определяя место наибольшего напряжения на ходу машины (на нейтрале напряжение максимальное), по лучше использовать индуктивный метод. При неподвижной машине к зажимам якоря подключают вольтметр 3—0—3 В. а в обмотку возбуждения подают постоянный ток напряжением (1—2%)  $U_n$  и ключом размыкают цепь обмотки возбуждения. На нейтрале стрелка вольтметра не отклоняется.

Небольшое несоответствие заводских меток с фактической нейтралью, особенно у генераторов, может быть допущено заводом преднамеренно по соображениям устойчивости машины (по

условиям коммутации в современных машинах с дополнительными полюсами щетки никогда не сдвигаются с нейтральной. Двигатели и генераторы со сдвинутой по направлению вращения щетками при повышении нагрузки снижают скорость или напряжение, и наоборот;

неправильное чередование полюсов. Чередование должно быть по направлению вращения следующим: у генератора северный главный полюс — южный добавочный, южный главный полюс — северный добавочный; у двигателя северный главный полюс — северный добавочный, южный главный полюс — южный добавочный. Проверку выполняют при включенной и отключенной параллельной обмотке возбуждения. Легче всего чередование полюсов

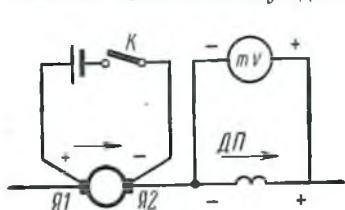


Рис. 4.9. Проверка правильности взаимного включения обмотки якоря и полюсов

проверить магнитной стрелкой. Поднося стрелку с наружной стороны станины к головкам болтов, крепящих полюса, контролируют ее отклонения. Отклонения стрелки должны соответствовать порядку чередования полюсов, указанному выше. Причем не так уж важно знать истинную полярность самой стрелки, а достаточно установить очередность ее отклонения

при последовательном поднесении стрелки к очередному полюсу;

неправильное включение дополнительных полюсов для компенсационной обмотки по отношению к якорю. Соединение якоря и добавочных полюсов, как правило, выполняют внутри машины при ее изготовлении, и все же изредка возникают ошибки. В качестве примера можно привести случай, встретившийся во время наладки вентилятора с регулированием числа оборотов (подробно схема будет рассмотрена несколько позже, здесь же следует только отметить, что в ней имеется генератор с обмотками: дополнительной, компенсационной, серпесной и параллельной). При проверке было обнаружено, что в генераторе компенсационная обмотка оказалась соединенной неправильно. Этот случай указывает на необходимость проверки правильности соединений обмоток. Для проверки к якорю подключают источник постоянного тока (аккумулятор), а к добавочным полюсам, — милливольтметр (рис. 4.9).

Как известно, при правильном соединении н. с. якоря должна быть направлена против н. с. добавочных полюсов и н. с. компенсационной обмотки, т. е. должны быть соединены вместе одноименные зажимы. Если полярности аккумулятора и милливольтметра присоединены к зажимам машины так, как указано на рис. 4.9, а полюса с якорем соединены правильно, то в момент замыкания рубильника стрелка милливольтметра отклонится вправо. Подобным методом необходимо проверить отдельно каждую из обмоток, причем необходимо учитывать, что в машине иногда

компенсационная и добавочная обмотки могут быть включены раздельно или по частям. Во всех без исключения случаях все части обмоток должны быть проверены отдельно, чтобы убедиться в том, что п. с. каждой обмотки направлены против п. с. якоря;

неправильный выбор зазора под добавочными полюсами. Регулировать его величину лучше всего на основе опыта «подпитки — отпитки». Но прежде чем проводить этот опыт и вообще принимать решение о необходимости изменения зазора, необходимо выяснить, как существующий зазор влияет на коммутацию. Для этого снимают кривые щеточного падения напряжения (рис. 4.10).

Для выполнения опыта один конец двустороннего вольтметра присоединяют к щеткодержателю, а другой с помощью заточенного (не остро) медного стержня передвигают вдоль щетки, не касаясь ее. Отсчеты снимают у набегающего края, посредине щетки и у сбегающего края. Откладывая полученные напряжения, по оси ординат строят кривую.

На рис. 4.11 приведены типичные примеры таких кривых и даны пояснения к ним. Однако следует отметить, что, по мнению многих авторов, этот метод не всегда дает хорошие результаты, и лучше использовать предложение В. Т. Касьянова, сущность предложения которого будет изложена после описания метода «подпитки — отпитки».

Руководствуясь снятыми кривыми щеточного падения напряжения у машин с ускоренной коммутацией, уменьшают ток в добавочных полюсах, шунтируя их специально подобранными низкими сопротивлениями. Изменяя величину тока отпитки, определяют минимальную величину, при которой коммутация становится хорошей, и наибольшую, при которой она снова начинает ухудшаться. На основании средней величины определяют новый зазор

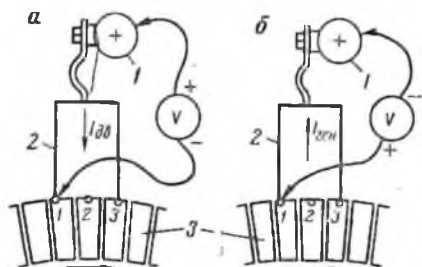


Рис. 4.10. Снятие кривой щеточного падения напряжения:

а — у двигателя; б — у генератора; 1 — положительный щеточный палец; 2 — щетка; 3 — коллектор

$$\Delta_n = \Delta_c \frac{1}{1 - \frac{I_o}{I} \frac{\kappa}{\kappa - 1}}, \quad (4.13)$$

где  $\Delta_n$  — новый воздушный зазор;  $\Delta_c$  — существующий воздушный зазор;  $I_o$  — ток отпитки (средний из минимального и максимального значений);  $I$  — ток, проходящий через добавочные

полюса;  $\kappa = W_\alpha / W_s$  — относительная компенсация (очень часто  $\kappa = 1,33$ );  $W_\alpha$  — число витков добавочных полюсов;  $W_s$  — число активных витков якоря на полюс.

Сложнее рассчитать зазор при замедленной коммутации, когда требуется увеличить намагничивающую силу добавочных полюсов. В этом случае следует использовать добавочную машину п, согласовав ее полярность с полярностью полюсов, подключить параллельно с ним.

Постепенно увеличивая напряжение на зажимах машины, чтобы оно стало больше падения напряжения на добавочных полюсах, добиваются увеличения тока. Его величину повышают

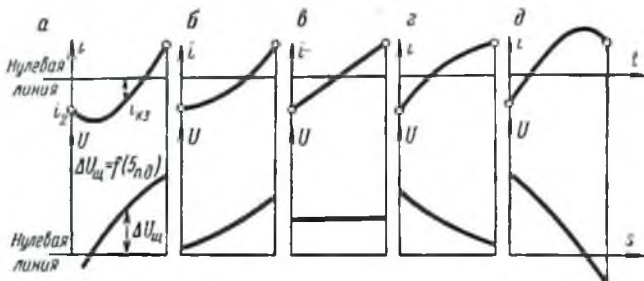


Рис. 4.14. Кривые изменения тока в коммутируемой секции и напряжения под щеткой, измеренного по направлению вращения:

а — сильно замедленная коммутация; б — замедленная коммутация; в — прямолнейная коммутация (нормально при перегрузке); г — ускоренная коммутация; д — сильно ускоренная коммутация (для ликвидации увеличить воздушный зазор у добавочных полюсов); t — время; s — толщина щетки

до тех пор, пока коммутация не станет хорошей, а затем уменьшают до ухудшения коммутации. Ток подпитки равен среднему из этих величин. Новый зазор

$$\Delta_n = \Delta_c \frac{1}{1 - \frac{I_n}{I} \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1}}, \quad (4.14)$$

где  $I_n$  — ток подпитки, А.

Если имеются очень крупные машины с большими токами, может не быть источника для создания тока подпитки. Тогда с самого начала уменьшают зазор, получая ускоренную коммутацию, и, проводя отпитки, вычисляют искомый зазор по формуле (4.13). Опыты проводят, поддерживая почти неизменный ток якоря. Окончательные выводы можно сделать после проведения опытов при токах якоря  $(1/4, 1/2, 3/4)I_n$ .

В ГОСТ 10159—69 приведен метод определения области безискровой коммутации, построенный на предложении В. Т. Касьянова. В соответствии с этим методом предусматриваются три варианта изменения возбуждения в обмотке добавочных полюсов:

с помощью постороннего источника постоянного тока, подключенного к добавочным полюсам, включенным в общую цепь машины;

то же, но добавочные полюса отсоединены от машины;

с помощью регулирования силы тока во временной добавочной обмотке, наложенной на полюса.

Выбор способа изменения магнитного потока добавочных полюсов зависит от силы тока якоря и имеющегося в наличии источника постоянного тока. Опыты проводят начиная от х. х. машины и затем постепенно увеличивают силу тока якоря на 25%  $I_n$ , 50%, 75% и 100%  $I_n$ , поддерживая во время опыта силу тока

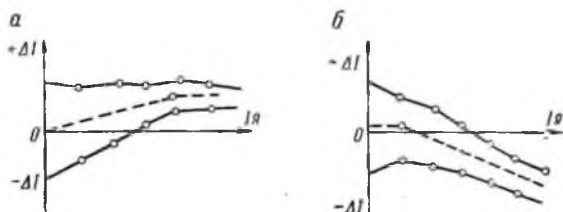


Рис. 4.12. Кривые, характеризующие появление искрения под щетками при разной силе тока в якоре и изменении потока в добавочных полюсах

в якоре почти неизменной. Каждый опыт начинают с зоны безискровой коммутации и затем, сначала увеличивая магнитный поток добавочных полюсов до появления первой искры под любой щеткой, возвращаются в начальное положение и уменьшают ток (а значит, и поток) в добавочных полюсах опять до появления первой искры под одной из щеток. Строят кривые на основании полученных данных и находят изображения, подобные приведенным на рис. 4.12. Проводя средние линии (на рис. 4.12, а б они показаны пунктиром), выясняют, как влияет магнитный поток добавочных полюсов на искрение под щетками. Отклонение средней линии вверх (см. рис. 4.12, а) свидетельствует, что магнитный поток добавочных полюсов недостаточен, и наоборот. При нормальном магнитном потоке средняя линия должна быть близкой к оси абсцисс, исходя из этого и регулируют зазор между полюсами и якром.

Кроме работ по испытанию машины постоянного тока, выполняемых, как указывалось ранее, в объеме требований ПУЭ, в процессе наладки снимают целую серию характеристик, необходимых для обеспечения режима работы, предусмотренного проектом. В электроприводах угольной промышленности такие характеристики приходится снимать у двигателей постоянного тока, установленных на подъемных машинах (система Г—Д), у генераторов этой же системы и у генераторов машинно-вентильного

каскада, используемого в приводе вентиляторов главного проветривания.

Во всех без исключения случаях требуется снимать характеристики х. х. генераторов, но так как в большинстве случаев в схемах управления обмотками возбуждения этих генераторов применяются силовые магнитные усилители или тиристоры, то снимать характеристику х. х. необходимо при включении всей аппаратуры управления, потому что зависимость между током возбуждения и обмотке главных полюсов и напряжением генератора для палладки подобных схем недостаточна.

Если для управления током возбуждения предусмотрены силовые магнитные усилители, то предварительно осуществляют их палладку и только после убеждения в том, что усилители исправны, а их характеристики могут обеспечить режимы, предусмотренные проектом, приступают к снятию характеристики. Для этого отключают все обмотки управления магнитного усилителя, находящегося в различных узлах схемы управления и защиты, и задающую обмотку присоединяют через регулировочный реостат или сельсиг (в зависимости от того, что предусмотрено схемой управления) к источнику независимого напряжения. Плавно увеличивая ток в задающей обмотке от нуля, снимают одновременно показания амперметра, включенного в цепь задающей обмотки, и вольтметра, присоединенного к выводам якоря генератора. Ток в задающей обмотке увеличивают до тех пор, пока напряжение генератора не станет выше номинального на 20%. Затем так же плавно снижают ток в задающей обмотке до нуля, изменяют полярность напряжения, подведенного к задающей обмотке, и повторяют цикл измерений при обратном направлении тока возбуждения. При изменении тока от нуля до максимума или наоборот следует получить не менее 20 показаний амперметра и вольтметра. Число оборотов генератора во время проведения опыта должно быть неизменным и равным номинальному.

При проведении подобных опытов целесообразно для контроля включать амперметр и в цепь обмотки возбуждения главных полюсов. Аналогичным образом снимают характеристику х. х. при применении тиристоров. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен в разделе, посвященном подъемным установкам.

В схемах машинно-вентильного каскада, применяемых для регулирования числа оборотов главных вентиляторов, обычно имеют два генератора постоянного тока, включаемых последовательно или параллельно в зависимости от глубины регулирования. Для таких установок необходимо иметь нагрузочные характеристики генераторов, чтобы убедиться в правильном разделении нагрузки при параллельной работе генераторов.

Обеспечить работу генераторов на регулируемые резисторы обычно не удастся, так как требуется слишком большое количество таких резисторов, поэтому характеристику снимают после предварительной отладки цепей управления и самих генераторов,

дающей возможность запустить вентилятор с закрытым направляющим аппаратом. Опыт проводят при последовательном включении генераторов. Перед пуском в цепи якорей генераторов включают контрольные амперметры, а на зажимы якорей — контрольные вольтметры. Запуская установку, доводят число оборотов вентилятора до номинального, а затем начинают регулировать скорость. Опыт показал, что при регулировании можно получить достаточно медленное и плавное изменение тока якоря, позволяющее одновременно снимать показания контрольных приборов в каждом генераторе. При достаточной глубине регулирования легко получить изменение тока от нуля до его номинальной величины и наоборот, причем за этот период удастся снять одновременно не менее трех или четырех показаний приборов. Повторяя опыт несколько раз, можно легко получить по 10—12 точек и по ним построить кривые зависимости  $I_a = f(U_r)$ . Проводя этот опыт, необходимо контролировать число оборотов вентилятора, чтобы получить уверенность, что все показания приборов были сняты при одной и той же скорости вращения вентилятора. Более подробно этот вопрос, а также снятие аналогичных характеристик для системы Г—Д будут рассмотрены в соответствующих разделах.

#### § 4.4. ДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Объем предмонтажной ревизии зависит от конструктивного исполнения и состояния двигателя. Большая часть работ одинакова для всех двигателей, поэтому целесообразно рассмотреть этот вопрос в целом, учитывая особенности отдельных типов.

Общие вопросы палатки двигателей, связанные с проведением испытаний в объеме требований ПУЭ, были рассмотрены в § 4.2, регулирование и проверка аппаратуры защиты и управления рассматриваются в соответствующих параграфах, поэтому в настоящем параграфе следует остановиться только на некоторых вопросах, дополняющих приведенный ранее материал.

В объем ревизии входят: внешний осмотр, регулирование щеточного аппарата, проверка состояния подшипников и крепления обмоток.

При внешнем осмотре прежде всего проверяют наличие маркировки на концах отдельных фаз. Если по каким-либо причинам часть маркировки отсутствует, ее следует восстановить, определив начала и концы обмоток. Для этого у несекционного двигателя омметром или мегомметром находят зажимы отдельных фаз, соединяют их паугад звездой и затем нуль и фазу подключают к соответствующему напряжению сети. Меняя концы, подсоединяемые к звезде у двух свободных обмоток, добиваются распределения напряжений, указанных на рис. 4.13, а. Это распределение будет соответствовать маркировке концов, приведенной на рис. 4.13, а. Все иные распределения напряжений соответствуют ошибочным соединениям.

При наличии вольтметра постоянного тока и батареи элементов проще определить маркировку отдельных фаз, включая их, как показано на рис. 4.13, б. Присоединив наугад два конца двух фаз к двум другим через рубильник (кнопку), подсоединяют батарею сухих элементов, а на третью фазу включают вольтметр. Если две фазы соединены одноименными концами (сплошные линии), стрелка

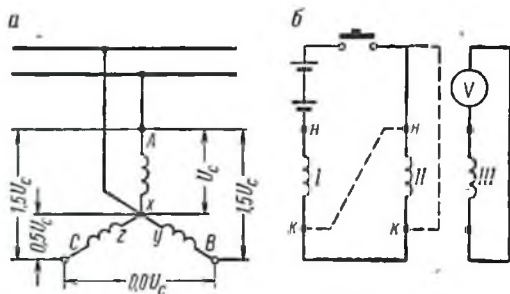


Рис. 4.13. Проверка схемы соединения обмоток:

а — методом переменного тока; б — методом постоянного тока;  $U_c$  — напряжение сети

вольтметра в момент замыкания рубильника не будет давать отклонения.

При соединении фаз разноименными концами (пунктирная линия) стрелка вольтметра в момент замыкания рубильника будет отклоняться. Чтобы избежать ошибок, целесообразно пользо-

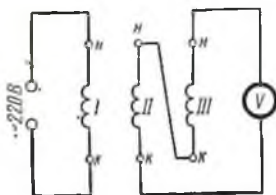


Рис. 4.14. Отыскание полярности концов фаз

ваться вольтметром с нулем посредине. При наличии источника переменного тока пониженного напряжения (127 или, в крайнем случае, 36 В) можно вместо батареи и вольтметра постоянного тока использовать вольтметр переменного тока и этот источник напряжения, причем лучше источник переменного тока подсоединить к одной фазе, а две другие соединить наугад, подсоединив к свободным концам вольтметр (рис. 4.14). Если после подачи напряжения вольтметр будет отклоняться, то две фазы соединены разноименными концами, и наоборот.

В секционных машинах с двенадцатью концами при отыскании концов вначале следует проследить схему обмотки, затем определить описанным выше способом начало и конец для каждой половины обмотки и, наконец, выяснить правильность соединения секций, для чего, соединив все концы по выясненной маркировке в звезду, подключить двигатель к пониженному в несколько раз напряжению (например, в 8—10 раз, т. е. вместо 3 кВ давать

380 В) и проконтролировать распределение токов по фазам в староре. Ротор в это время должен быть неподвижным или вращаться с небольшой скоростью.

Продолжая осмотр, выяснить состояние контактных колец и щеточного аппарата:

щетки должны быть притерты по всей поверхности прилегания к кольцам;

на контактных кольцах и аппарате щеткодержателя не должно быть следов пыли и грязи. Если необходимо, следует протереть все части тряпкой, смоченной в очищенном бензине;

Таблица 4.5

Неисправности щеткодержателей и контактных колец

| Признаки неисправности                                                                                | Причины, вызвавшие неисправность                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Обгорание отдельных щеток — во время работы наблюдалось искрение                                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Плохая шлифовка щеток</li> <li>2. Заедание щеток в обойме щеткодержателя из-за перекоса, неправильной подгонки щеток по пазу обоймы, наличия заусенцев в обойме</li> <li>3. Слабое давление контактной пружины</li> </ol> |
| Искрение щеток во время работы — большинство щеток обгорело                                           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Биеение контактных колец или раковины на них</li> <li>2. Неправильный подбор сорта щеток</li> </ol>                                                                                                                       |
| Быстрый износ внутренней боковой поверхности щеток                                                    | Неровности и заусенцы в обоймах и биеение контактных колец                                                                                                                                                                                                          |
| Разъедание внутренней поверхности обоймы                                                              | Нарушение пуптов или других частей арматуры, вызывающее неправильное прохождение тока                                                                                                                                                                               |
| Перегрев контактных колец и щеток                                                                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Слишком сильное натяжение пружины</li> <li>2. Плохая вентиляция щеток</li> </ol>                                                                                                                                          |
| После длительной остановки под щетками возникают пятна матового цвета                                 | При появлении сырости на контактных кольцах и щетках они образуют гальванический элемент. При наличии замкнутых цепей возникающие токи создают потемнение контактных колец. Особенно подвержены этому явление машины со стальными контактными кольцами              |
| Неравномерный износ контактных колец синхронных двигателей с появлением шероховатости на одном кольце | Катодный перенос металла. Следует периодически менять полярность колец и силу нажатия щеток                                                                                                                                                                         |

зазоры между щетками и щеткодержателями в осевом направлении не должны превышать на сторону 0,2—0,5 мм, по направлению вращения суммарный зазор может быть в пределах 0,15—0,4 мм. Следует иметь в виду, что приведенные величины в ГОСТ 183—66 \* не нормированы и могут быть изменены заводом-поставщиком, однако при всех отступлениях должно быть обеспечены надлежащая плотность контакта, отсутствие искрения и вибрации при работе с номинальной нагрузкой;

радиальное биение контактных колец не более 0,1 мм;

нажатие щеток зависит от их сорта, но должно быть равномерным и обычно находится в пределах 0,15—0,2 кгс/см<sup>2</sup>.

Если двигатель уже находился в работе, то при внешнем осмотре щеточного аппарата необходимо определить возможные неисправности, возникшие во время работы или не устраненные во время монтажа. Наиболее частые виды повреждений указаны в табл. 4.5.

После устранения неисправностей следует убедиться, что общее состояние щеточного аппарата соответствует требованиям, приведенным выше.

Перед началом испытаний еще раз измеряют величину воздушного зазора между железом статора и ротора и полученные величины сверяют с данными, записанными при установке двигателя. Если за время подливки фундамента произошло изменение воздушного зазора и новые результаты отклоняются от нормы, следует заново установить статор, используя прокладки, имеющиеся под опорами.

В объем ревизии входит проверка подшипников и замена смазочного масла. Эти операции выполняют в соответствии с рекомендациями, указанными для таких типов подшипников в [30]. Замена масла производится по далям, приведенным в паспорте, или сведениям, взятым из [30].

## НАЛАДКА НИЗКОВОЛЬТНОЙ АППАРАТУРЫ

## § 5.1. КОНТАКТОРЫ И ПУСКАТЕЛИ

В схемах электроприводов применяются контакторы переменного и постоянного тока первой — пятой величины. Наиболее распространены контакторы КТ и КН, а из старых выпусков КП и КТВ. Встречается много разновидностей каждого типа, отличающиеся по конструкции контактов, силе их нажатия и виду исполнения, но методы наладки почти не отличаются друг от друга и только род тока вносит некоторые особенности. Объем и методика наладки определяются нормами Правил [14] и ГОСТ 11206—70\*. В основном они сводятся к следующему:

1) снимают дугогасительные камеры, проверяют состояние боковых стенок дефонной решетки, удаляют нагар, а также брызги меди как с решетки, так и с контактов, устанавливают симметричность подвижной части относительно неподвижных контактов, причем регулировку ведут обыкновенно за счет изменения положения подвижной части. Измеряют зазор  $x$  (рис. 5.1) между главными контактами при полностью разомкнутом контакторе и провал при полностью замкнутом контакторе. Полученные величины должны соответствовать данным табл. 5.1 и 5.2. Следует иметь в виду, что в таблицах приведены сведения для новых контакторов и неиспользованных контактов. При эксплуатации вследствие износа и утоньшения контактов величины провала и конечного нажатия постепенно уменьшаются. Контакты подлежат замене или регулированию, когда фактические величины составят 60% от соответствующих данных, указанных в таблицах. При полностью включенном контакторе щупом с подсветкой переносной лампой проверяют лишь касания подвижного контакта с неподвижным. Его длина должна быть в пределах 80—90% рабочей ширины контакта. Проверяют отсутствие перекосов и качество переходного контакта, причем особое внимание обращают на состояние и качество крепления гибких перемычек;

2) проверяют плотность и качество крепления ярма и папелли и отсутствие перекосов между полюсами якоря и сердечника.

Смещение кромок полюсов якоря и сердечника относительно друг друга допускается: для контакторов II величины — не более чем на 1 мм, а для контакторов III, IV и V величин — не более чем на 2 мм. При этом осевой зазор вала в подшипниках не должен превышать 0,3 мм.

Регулировочные характеристики контакторов переменного тока

Таблица 5.1

| Контактор          | Накатные главные контакты, кгс |             |            |             | Главные контакты, мм |         | Блок-контакты, мм |        |
|--------------------|--------------------------------|-------------|------------|-------------|----------------------|---------|-------------------|--------|
|                    | начальное                      |             | конечное   |             | раствор              | провал  | раствор           | провал |
|                    | замыкающих                     | размыкающих | замыкающих | размыкающих |                      |         |                   |        |
| КТВ-22 * до КТВ-52 | 0,7—0,9                        | 0,2—0,4     | 0,9—1,1    | 0,2—0,4     | 11                   | 3±0,5   | 10 **             | 3—4    |
| КТВ-23 до КТВ-53   | 1,6—2,3                        | 0,7—1,2     | 3,2—4,0    | 1,1—1,8     | 14                   | 3±0,5   | 10                | 3—4    |
| КТВ-24 до КТВ-54   | 3,2—5,1                        | 0,7—1,2     | 6,5—8,0    | 1,1—1,8     | 16                   | 4,5±0,5 | 10                | 3—4    |
| КТВ-25 до КТВ-35   | 6,5—9,8                        | 1,6—2,3     | 13—16      | 2,3—4,0     | 18                   | 5,5±0,5 | 10                | 3—4    |
| КТЭ-12 до КТЭ-52   | 0,7—0,9                        | 0,3—0,5     | 0,9—1,4    | 0,2—0,5     | 11                   | 2,5±0,5 | 10 **             | 4—1    |
| КТЭ-13 до КТЭ-33   | 1,8—2,3                        | 0,3—0,5     | 2,3—3,6    | 0,3—0,5     | 14                   | 3—0,5   | 10                | 4—1    |
| КТЭ-14 до КТЭ-54   | 3,6—5,1                        | 1,8—2,3     | 5,5—7,5    | 2,3—3,6     | 16                   | 4,5—0,5 | 10                | 4—1    |
| КТЭ-15 до КТЭ-55   | 7,0—9,8                        | 1,8—2,3     | 10—13,5    | 2,3—3,6     | 18                   | 5,5±0,5 | 10                | 4—1    |
| КТ-5013            | 1,5                            | —           | 2,3        | —           | 6                    | 6       | 10 **             | 4—1    |
| КТ-5023            | 2,5                            | —           | 3,5        | —           | 8                    | 6—8     | 10                | 4—1    |
| КТ-5033            | 4,0                            | —           | 5,6        | —           | 9                    | 8       | 10                | 4—1    |
| КТ-5043            | 4,5                            | —           | 8,5        | —           | 12                   | 10      | 10                | 4—1    |
| КТ-5053            | 7,0                            | —           | 17,0       | —           | 15                   | 10      | 10                | 4—1    |
| КТП6010 (2) ***    | 2,3—2,4                        | —           | 2,5—2,9    | —           | 7,5—8,5              | 1,7—2,0 | —                 | —      |
| КТП6020 (3)        | 1,5—1,6                        | —           | 1,8—2,2    | —           | 7,5—8,5              | 1,7—2,0 | —                 | —      |
| КТП6030 (2, 3)     | 2,0—2,2                        | —           | 3,7—4,5    | —           | 7,5—8,5              | 3,3—3,5 | —                 | —      |
| КТП6040 (2,3)      | 5,3—5,5                        | —           | 13,1—16,6  | —           | 11—13                | 3,3—3,5 | —                 | —      |
| КТП6050 (2,3)      | 9,6—10                         | —           | 18,0—21,0  | —           | 10—12                | 3,7—4,0 | —                 | —      |
| КТ6010 (2)         | 2,2—2,4                        | —           | 2,5—2,9    | —           | 7,8—8,5              | 1,7—2,0 | —                 | —      |
| КТ6020 (2)         | —                              | —           | —          | —           | —                    | —       | —                 | —      |
| КТ6010 (3)         | 1,5—1,6                        | —           | 1,8—2,2    | —           | 7,8—8,5              | 1,7—2,0 | —                 | —      |
| КТ6020 (3)         | —                              | —           | —          | —           | —                    | —       | —                 | —      |
| КТ6010 (4)         | 1,1—1,2                        | —           | 1,4—1,7    | —           | 7,8—8,5              | 1,7—2,0 | —                 | —      |
| КТ6020 (4)         | —                              | —           | —          | —           | —                    | —       | —                 | —      |
| КТ6030 (2,3)       | 2,0—2,2                        | —           | 3,7—4,5    | —           | 7,8—8,5              | 3,3—3,5 | —                 | —      |
| КТ6030 (4)         | 1,4—1,6                        | —           | 3,0—3,4    | —           | 7,8—8,5              | 3,3—3,5 | —                 | —      |
| КТ6030 (5)         | 1,1—1,2                        | —           | 2,6—3,0    | —           | 7,8—8,5              | 3,3—3,5 | —                 | —      |
| КТ6040 (2,3)       | 5,3—5,5                        | —           | 7,3—8,4    | —           | 11—13                | 3,3—3,5 | —                 | —      |
| КТ6040 (4)         | 4,0—4,4                        | —           | 6,1—7,1    | —           | 11—13                | 3,3—3,5 | —                 | —      |
| КТ6040 (5)         | 3,2—3,5                        | —           | 5,3—6,5    | —           | 11—13                | 3,3—3,5 | —                 | —      |
| КТ6050 (2,3)       | 9,6—10,0                       | —           | 18—21      | —           | 10—12,5              | 3,7—4,0 | —                 | —      |
| КТ6050 (4)         | 6,5—6,8                        | —           | 12,5—15,0  | —           | 10—12,5              | 3,7—4,0 | —                 | —      |
| КТ6050 (5)         | 4,8—5,0                        | —           | 10,5—13,0  | —           | 10—12,5              | 3,7—4,0 | —                 | —      |
| КТ7010 (2)         | 2,2—2,4                        | —           | 2,5—2,9    | —           | 7,8—8,5              | 1,7—2,0 | —                 | —      |
| КТ7020 (2)         | —                              | —           | —          | —           | —                    | —       | —                 | —      |
| КТ7010 (3)         | 1,5—1,6                        | —           | 1,8—2,2    | —           | 7,8—8,5              | 1,7—2,0 | —                 | —      |
| КТ7020 (3)         | —                              | —           | —          | —           | —                    | —       | —                 | —      |
| КТ7010 (4)         | 1,1—1,2                        | —           | 1,4—1,7    | —           | 7,8—8,5              | 1,7—2,0 | —                 | —      |
| КТ7020 (4)         | —                              | —           | —          | —           | —                    | —       | —                 | —      |
| КТ7010 (5)         | 0,8—0,9                        | —           | 1,1—1,4    | —           | 7,8—8,5              | 1,7—2,0 | —                 | —      |

\* Первая цифра в условном обозначении контакторов КТВ и КТЭ указывает число главных контактов, вторая — силу тока.  
 \*\* В растворе блок-контакты учитываются суммарный зазор, состоящий из зазора А, между первым неподвижным контактом и мостом и зазора А<sub>2</sub> между вторым неподвижным контактом и мостом.  
 \*\*\* В скобках указано число полюсов контактора. Контакторы КТВ в настоящее время сняты с производства, то же относится к контакторам серии КТ5000, КТ и КТД.  
 Конструкция контактной системы контакторов КТ6000 и КТ7000 допускает без смекы контактов двукратное восстановление провала вследствие вращения регулировочного винта или втулки (в зависимости от силы тока, на которую рассчитан контактор). Не допускается работа контактора при наличии провала, превышающего нормальный в два раза. Неодновременность касания контактов допускается в пределах 0,3 — 0,4 мм.

Крайние полюса якоря должны плотно прилегать друг к другу, так как наличие зазора вызовет гудение и повышение тока в катушке, поэтому, проверяя рабочие поверхности сердечника, не только убеждаются в отсутствии заусенцев и грязи, но и удаляют антикоррозионную смазку, которой были покрыты поверхности

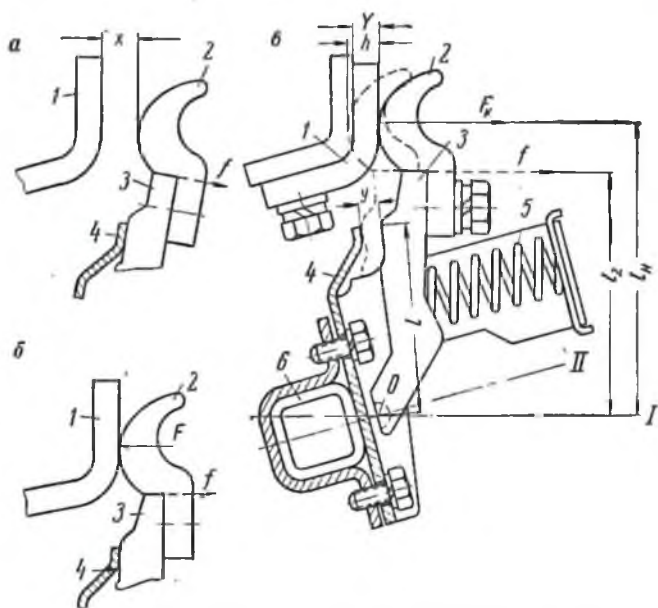


Рис. 5.1. Контактная система контактора КТ-5000:

а — отключенное положение; б — начало насаживания контактов; в — окончание включенного положения; х — раствор; Y — провал; y — зазор, контролирующий провал;  $F_k$  — конечное нажатие на контакт; F — начальное нажатие на контакт; f — место приложения усилия для контроля нажатия; O — ось вращения подвижного контакта; I — неподвижный контакт; 2 — подвижный контакт, 3 — контактный рычаг; 4 — упор держателя; 5 — пружина контакта; 6 — вал; I — положение оси вала при отключенном контакторе; II — положение оси вала при включенном контактере; h — толщина неподвижного контакта

сердечника и якоря на заводе для предотвращения ржавления на время хранения и транспортирования.

При Ш-образном сердечнике во избежание замыкания магнитной системы оставляют зазор между средними полюсами. Его величина зависит от размеров сердечника и типа контактора. Если отсутствуют специальные указания завода, то можно руководствоваться следующими данными:

|                                       |                 |                 |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Величина контактора . . . . .         | II              | III             |
| Зазор у среднего полюса, мм . . . . . | $0,3 \pm 0,1$   | $0,35 \pm 0,05$ |
| Величина контактора . . . . .         | IV              | V               |
| Зазор у среднего полюса, мм . . . . . | $0,45 \pm 0,05$ | $0,45 \pm 0,05$ |

Таблица 5.2

## Регулировочные характеристики контакторов постоянного тока

| Контактор                         | Нажатие главных контактов, кгс |               | Главные контакты, мм |                                     | Блок-контакты, мм |         |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------|---------|
|                                   | начальное                      | конечное      | раствор              | провал                              | раствор           | провал  |
| КП21 (20—55)                      | 0,08—0,12                      | Не более 0,16 | 7—10                 | 2,5—3,5                             | —                 | —       |
| КП31 (10—42)                      | 0,15—0,25                      | Не более 0,31 | 8—10                 | 2,5—3,5                             | —                 | —       |
| КП2                               | 0,5—0,7                        | 0,8—1,0       | 9—11                 | 2,5—3,5                             | —                 | —       |
| КП-3                              | 1,0±0,1                        | 2,0±0,2       | 12±1                 | 3,0±0,5                             | 8—11              | 3—4     |
| КП-4                              | 1,6±0,2                        | 3,5±0,3       | 15±1                 | 3,0±0,5                             | 8—11              | 3—4     |
| КП-5                              | 3,6±0,4                        | 7,2±0,7       | 18±1                 | 3,0±0,5                             | 8—11              | 3—4     |
| КП-6                              | 7,0±0,7                        | 15,0±1,5      | 22±1                 | 7,0±0,5                             | 8—11              | 3—4     |
| КПВ-602                           | 0,8—1,0                        | 1,8—2,2       | 8±3                  | 2,4—3,0                             | —                 | 2—4     |
| КПВ-603                           | 1,3—1,6                        | 2,7—3,3       | 13±2                 | 2,6—3,3                             | —                 | 2—4     |
| КПВ-604                           | 2,7—3,3                        | 6,0—7,0       | 15±2                 | 3,5—4,2                             | —                 | 2—4     |
| КПВ-605                           | 6,0—7,0                        | 13—16         | 22±2                 | 7,0±0,5                             | —                 | 2—4     |
| КН112—КН153,<br>КНУ112—КНУ153     | —                              | 0,55±0,05     | 4,0±0,5              | 1,0 <sup>+0,5</sup> <sub>-0,2</sub> | —                 | 2,5±0,3 |
| КН212—КН254,<br>КНУ212—КНУ254     | —                              | 1,2±0,1       | 5,5±0,5              | 1,5 <sup>+0,5</sup> <sub>-0,2</sub> | —                 | 2,5±0,3 |
| КН311,<br>КНУ311—КН356,<br>КНУ356 | —                              | 2,0±0,2       | 6,0±0,5              | 2,0 <sup>+0,5</sup> <sub>-0,2</sub> | —                 | 4,5±0,3 |
| КН411,<br>КНУ411—КН456,<br>КНУ456 | —                              | 4,0±0,2       | 7,0±0,5              | 2,0 <sup>+0,5</sup> <sub>-0,2</sub> | —                 | 4,5±0,3 |
| КН541, КНУ541,<br>КН551, КНУ551   | —                              | 8,0±0,3       | 7,0±0,2              | 3,0±0,3                             | —                 | 4,5±0,3 |

## Примечания:

1. Для КН и КНУ указан полный провал мостика блок-контакта, который для контакторов I и II величина составляет  $0,8 \pm 0,2$  и для контакторов III, IV и V величина  $2,5 \pm 0,5$  мм.

2. Конечное нажатие на мостик блок-контакта у всех контакторов одинаково и составляет 180 гс.

3. Главные контакты контакторов серии КНУ не допускают отклонения электрических цепей под нагрузкой.

3) проверяют крепление катушки на сердечнике. Катушка не должна легко проворачиваться или иметь зазоры, так как это может вызвать вибрацию и порчу изоляции в момент включения;

4) измеряют динамометром нажатие главных контактов и регулируют их зазор. Соответствующие данные приведены в табл. 5.1 и 5.2. Сила начального и конечного нажатия зависит от жесткости пружины, первоначальной величины ее сжатия и провала. Регулировку производят изменением начального нажатия и величины провала.

Для определения величины начального нажатия укрепляют пружинный динамометр по направлению стрелки (см. рис. 5.1) через гибкий проводник (шнурок), кладут на неподвижный контакт

полоску бумаги и приводят в соприкосновение контактную систему, чтобы она соответствовала полному включению контактов, после чего оттягивают подвижный контакт динамометром, замечая его показания в момент освобождения полоски бумаги. Затем пересчитывают показания динамометра

$$F = f \frac{l_2}{l_n}, \quad (5.1)$$

где  $f$  — показания динамометра;  $l_2$  — расстояние от оси  $O$  до точки крепления динамометра (см. рис. 51);  $l_n$  — расстояние от оси  $O$  до точки касания контактов.

У некоторых контактов серии КТ завода ХЭМЗ не происходит перекашивания подвижного контакта по неподвижному, что несколько снижает качество их работы. Вследствие отсутствия перекашивания расстояние от оси вращения  $O$  до точки касания контактов в процессе включения не меняется и величины конечного и начального нажатий зависят только от силы сжатия пружины, поэтому в формуле (5.1) при подсчете нажатий меняется только показание динамометра.

У контакторов других серий происходит значительное перекашивание подвижного контакта по неподвижному, поэтому, используя формулу (5.1), следует изменять в ней не только силу нажатия  $f$ , но и значение  $l_n$ , подставляя расстояния, соответствующие начальной и конечной линиям соприкосновения контактов.

Если начальное нажатие слабо, следует его усилить, увеличив толщину прокладки, регулирующей сжатие пружины при разомкнутом контакте. При сильном нажатии прокладку уменьшают или удаляют совершенно.

Регулировать конечное нажатие следует изменением толщины прокладки под неподвижным контактом, учитывая, что при увеличении провала повышается нажатие контактов.

При массовой проверке следует сделать один пересчет, внимательно проверив расстояние, а для всех остальных давать одинаковое крепление динамометру, для чего проще всего использовать накидной крючок;

5) регулируют зазор и провал блок-контактов, изменяя высоту стоек, несущих неподвижные блок-контакты. Иногда начальный зазор приходится регулировать, изменяя крепление мостика, при этом следует добиться, чтобы не было перекосов мостиков блок-контактов.

Начальное нажатие блок-контактов зависит от величины коммутируемого тока и поэтому несколько различается для контакторов разных серий: например для контакторов КП-1 начальное нажатие не менее 60 гс, а для контакторов КП-2 не менее 130 гс. У контакторов КТ малых габаритов начальное нажатие 130 гс, у контакторов больших габаритов — не менее 250 гс, конечное нажатие — не менее 300 гс. Аналогичные изменения наблюдаются

у контакторов КН и КНУ. Остальные типы контакторов имеют нажатия блок-контактов, близкие к приведенным выше.

Если при проверке получаются меньшие величины, следует поменять пружины или изменить начальное нажатие;

б) проверяют крепление дугогасящей катушки, камер и гибких соединений. Следует помнить, что подключение дугогасящей катушки должно производиться с учетом согласования возникающего в ней потока и тока, проходящего через главные контакты. В литературе рекомендуется поддерживать напряженность магнитного поля в зоне гашения равной 100 Э.

При необходимости фактическую величину напряженности магнитного поля можно измерить с помощью вспомогательной катушки. Изменяя напряжение на катушке, помещенной в зону поля, вычисляют напряженность

$$H = \frac{E}{4,44} \cdot \frac{10^8}{fws}, \quad (5.2)$$

где  $E$  — э. д. с., индуцируемая в измерительной катушке, В;  $f$  — частота, Гц;  $w$  — число витков катушки;  $s$  — площадь контура среднего витка, см<sup>2</sup>.

Подобные измерения проводят в исключительных случаях, когда возникает подозрение о плохой работе дугогасящей системы. Для создания магнитного поля в зоне гашения подсоединяют дугогасящую катушку к нагрузочному трансформатору и при разомкнутом контакторе пропускают через нее номинальный ток промышленной частоты, измеряя одновременно напряженность в разных местах камеры. Для облегчения расчетов при подобных измерениях целесообразно иметь постоянную катушку и вольтметр, переградуированный в эрстеды;

7) проверяют и регулируют в контакторах постоянного тока в соответствии с действующими Правилами и требованиями проекта напряжение (ток): вытягивания, т. е. минимальную его величину, при которой якорь будет полностью притянут; отпадения, т. е. наибольшую величину, при которой якорь отпадает.

В соответствии с требованиями Правил [14] контактор должен четко включаться при 90% номинального напряжения и нагреве включающей катушки до максимально допустимой величины. Так как наладка чаще всего ведется при холодных катушках, их нагрев следует учитывать изменением напряжения

$$U = \frac{0,9U_n}{1 + \alpha(100 - t^0)} \quad (5.3)$$

где  $\alpha$  — температурный коэффициент; 100 — температура катушки при нагреве на 65° С;  $t^0$  — температура обмотки катушки при измерении, °С.

Для уточнения следует проводить пять включений. При нечетком срабатывании следует измерить первоначальный зазор

между ярмом и якорем. Реже приходится возвращаться к регулированию нажатия контактов, при этом следует помнить, что большое ослабление нажатия контактов может вызвать их вибрацию и даже приваривание при прохождении пускового тока или в режиме к. з., поэтому уменьшение нажатия должно ограничиваться минимально допустимыми величинами.

Напряжение отпадания действующими Правилами не нормируется, но должно измеряться и записываться в протокол, так как характеризует остаточный магнитный зазор и залипание сердечника. Напряжение вытягивания при наличии сети постоянного тока проверяют, включая регулировочное сопротивление последовательно с катушкой или параллельно, используя его в этом случае как потенциометр. Эта схема лучше, так как дает возможность проверить и напряжение отпадания, но требует мощных реостатов. Поставленную задачу легче осуществлять, подключая к сети переменного тока варпометр, к выходу которого через двухполупериодный выпрямитель подсоединяют испытываемые катушки.

Если панели, на которых смонтированы контакторы, получают энергию от генератора собственных нужд, его напряжение регулируют до необходимой величины и, отключив главный рубильник генератора, подводят поочередно к катушке каждого контактора гибкий шнур, соединенный с генератором. Концы шнура оканчиваются контактами-защелками;

8) проверяют и регулируют напряжение вытягивания контакторов переменного тока в соответствии с действующими Правилами [14]. Проводя испытания контакторов переменного тока, следует обратить внимание на характер гудения во включенном состоянии и отсутствие вибраций. Повышенное гудение может вызываться плохим прилеганием ярма (см. п. 2) или сильным копечным нажатием пружин.

Указанные причины обязательно следует выяснить и устранить, так как повышенное гудение сопровождается увеличением тока и нагрева катушки.

Возникновение вибрации, также приводящее к выходу катушки из строя, может быть вызвано обрывом к. з. витка, охватывающего часть магнитопровода контактора. Без такого витка прохождение переменного тока через нуль сопровождается исчезновением потока и усилия, удерживающего якорь, и, как следствие, небольшим отпаданием якоря с последующим его притяжением при возникновении тока. К. з. виток создает местный магнитный поток, изменение которого во времени смещено по отношению к главному. В результате возникает непрерывно действующий положительный момент, удерживающий якорь в притянутом состоянии.

После устранения вредных влияний проверяют напряжение вытягивания и отпадания. Так как пусковые токи катушки переменного тока выше рабочих в 10—15 раз, целесообразно при этих испытаниях пользоваться котельными трансформаторами. Вклю-

чая котельный трансформатор по схеме автотрансформатора, получим на выходе примерно 83% для напряжения 110—220 В. При напряжении 380 В применяют два последовательно включенных трансформатора.

Проверяя напряжение отпадания, последовательно с катушкой соединяют регулировочный реостат, вводимый в момент включения. Введя после включения регулировочное сопротивление, контролируют по вольтметру напряжение отпадания.

Использовать для этих целей ЛАТР не следует, так как из-за больших пусковых токов у него подгорает контакт. Если необходимо уменьшить напряжение втягивания или отпадания, регулируют начальный зазор и силу нажатия пружины. Особенно внимательно следует проверять включение пускателей соленоидного типа, так как тяговое усилие у них меньше, а перекосы подвижных частей встречаются чаще. Индуктивное сопротивление катушек переменного тока значительно больше омического, поэтому влиянием температуры можно пренебречь;

9) измеряют сопротивление постоянному току катушек контакторов и дугогасящих катушек (методика измерения см. в п. 3);

10) измеряют мегомметром на 1000 В сопротивление изоляции главной цепи и цепей управления. Величина сопротивления изоляции должна быть не ниже 0,5 МОм [14];

11) испытывают в течение 1 мин напряжением 1000 В изоляцию главной цепи и цепей управления [14]. Если проверку сопротивления изоляции проводили мегомметром на 2500 В, необходимость в испытании повышенным напряжением отпадает.

Регулировка и наладка магнитных пускателей почти не отличается от рассмотренной выше наладки контакторов. Дополнительно производят проверку и наладку пусковых кнопок и тепловых реле. Кроме того, характеристики контакторов пускателей несколько отличаются от характеристик, приведенных ранее. Поэтому, наладывая контакторную часть, следует руководствоваться данными табл. 5.3.

Таблица 5.3

Регулировочные характеристики магнитных пускателей

| Контактор | Нажатие главных контактов, кгс |          | Главные контакты, мм |               | Блок-контакты |            |              |
|-----------|--------------------------------|----------|----------------------|---------------|---------------|------------|--------------|
|           | начальное                      | конечное | раствор              | провал        | раствор, мм   | провал, мм | нажатие, кгс |
| КИ-30     | 1,0                            | 1,3      | 3                    | $2,2 \pm 0,5$ | 3             | 2—2,5      | 0,16         |
| КИ-60     | 1,3                            | 1,9      | 3                    | $3,5 \pm 0,5$ | 3             | 3          | 0,20         |
| КИ-100    | 2,3                            | 3,3      | 2,5                  | $4,0 \pm 0,5$ | 3             | 3          | 0,20         |
| КИ-150    | 3,6                            | 5,1      | 3,5                  | $4,0 \pm 0,5$ | 3             | 3          | 0,20         |
| ПМЕ-0     | —                              | —        | —                    | —             | 3—4           | 3—4        | 0,20         |
| ПМЕ-1     | —                              | —        | —                    | —             | 3—4           | 3—4        | 0,25         |

Налаживая контакторную часть магнитных пускателей, дополнительно необходимо проверять работу механической и электрической блокировок. Реверсивный пускатель должен иметь электрическую и механическую блокировки, не допускающие одновременного включения контакторов. Электрическую блокировку проверяют поочередным включением каждого из двух контакторов с последующей подачей напряжения в цепь второго

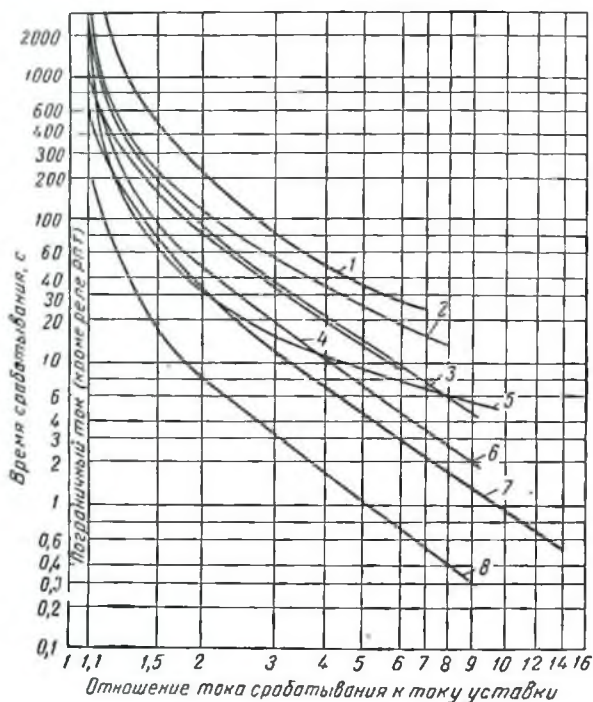


Рис. 5.2. Характеристики тепловых реле:

1 — РПТ; 2 — РТ для пускателя серии П1; 3 — ТРТ-150; 4 — ТРТ-25; 5 — ТРП-600; 6 — ТРП-60; 7 — ТРА; 8 — ТРВ

контактора. Если блокировка выполнена правильно, включения второго контактора не произойдет. Механическая блокировка согласно ГОСТ 2491—72 должна удовлетворять следующим условиям:

если включен один контактор, то второй включить нельзя;  
при одновременном включении от руки обоих контакторов ни один из подвижных контактов не должен касаться неподвижного.

Кроме проверки контактов необходимо отрегулировать пусковые кнопки и тепловую защиту.

Большинство пускателей серии ПА снабжено тепловым реле ТРП и ТРН, однако для других пускателей применяются и другие

реле. Ниже приводятся перечень и некоторые характеристики тепловых реле, применяющихся в пускателях за последние годы:

- однофазные реле серий ТРА и ТРВ на токи 7—200 А для установки на панелях магнитных станций;
- однофазные ударостойкие реле серии ТРТ на токи 1,75—550 А для пускателей серии ПМ и магнитных станций управления;

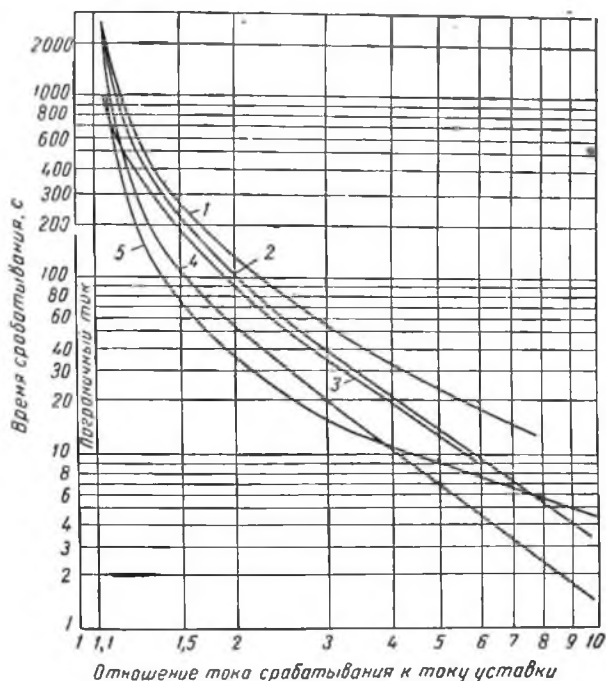


Рис. 5.3. Характеристика реле ТРП в сравнении с характеристикой реле РТ:

1 — реле РТ; 2 — ТРП-150; 3 — ТРП-2; 4 — ТРП-60; 5 — ТРП-600

однофазные реле серии ТРП на токи 1—600 А для магнитных станций управления (взамен серии РТ);

однофазные ударостойкие реле серии ТРМ на токи 1—600 А;

двухфазные реле с термокомпенсацией серии ТРН на токи 1,0—40 А для пускателей ПМЕ, П6 и ПА.

Характеристики этих реле в сравнении с характеристикой реле РТ (снятого с производства) приведены на рис. 5.2, 5.3.

Реле серии ТРМ является вибростойкой модификацией реле РПТ, поэтому его характеристики не приводим.

Проверку и наладку большинства типов реле выполняют по общей методике. Она заключается во внешнем осмотре реле,

Таблица 5.4

Характеристика тепловых элементов при одновременной нагрузке  
всех полюсов автомата

| Номиналь-<br>ный ток рас-<br>счета, А | Испытательный ток, А, при разной температуре окружаю-<br>щей среды, °С |      |      |      |      |      |      |      | Препе-<br>льное<br>время сра-<br>батывания, с | Максималь-<br>ное время,<br>с |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------------------------------|-------------------------------|
|                                       | 0                                                                      | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 40   |                                               |                               |
| Автоматы А3110                        |                                                                        |      |      |      |      |      |      |      |                                               |                               |
| 20                                    | 45                                                                     | 44   | 43   | 42   | 41   | 40   | 39   | 37   | 18—23                                         | 40                            |
| 25                                    | 57                                                                     | 56   | 54   | 53   | 51   | 50   | 49   | 47   | 19—27                                         | 50                            |
| 30                                    | 67                                                                     | 66   | 64   | 63   | 62   | 60   | 59   | 55   | 25—35                                         | 70                            |
| 40                                    | 90                                                                     | 88   | 86   | 84   | 82   | 80   | 78   | 74   | 35—45                                         | 90                            |
| 50                                    | 114                                                                    | 112  | 109  | 106  | 103  | 100  | 97   | 91   | 58—78                                         | 150                           |
| 15                                    | 37                                                                     | 35   | 34   | 33   | 32   | 30   | 29   | 25   | 19—27                                         | 50                            |
| 20                                    | 48                                                                     | 46   | 44   | 43   | 42   | 40   | 38   | 35   | 27—37                                         | 70                            |
| 25                                    | 59                                                                     | 57   | 55   | 54   | 52   | 50   | 48   | 45   | 35—45                                         | 90                            |
| 30                                    | 74                                                                     | 71   | 68   | 66   | 63   | 60   | 57   | 50   | 55—65                                         | 130                           |
| 40                                    | 96                                                                     | 91   | 89   | 86   | 83   | 80   | 87   | 70   | 50—80                                         | 160                           |
| 50                                    | 114                                                                    | 111  | 109  | 106  | 103  | 100  | 97   | 90   | 80—100                                        | 200                           |
| 60                                    | 137                                                                    | 133  | 131  | 127  | 124  | 120  | 116  | 109  | 70—90                                         | 180                           |
| 70                                    | 157                                                                    | 154  | 151  | 148  | 144  | 140  | 136  | 129  | 75—95                                         | 190                           |
| 85                                    | 190                                                                    | 187  | 185  | 182  | 176  | 170  | 166  | 156  | 110—140                                       | 240                           |
| 100                                   | 228                                                                    | 224  | 218  | 212  | 206  | 200  | 194  | 180  | 120—150                                       | 240                           |
| Автоматы А3120                        |                                                                        |      |      |      |      |      |      |      |                                               |                               |
| 15                                    | 50                                                                     | 50   | 49   | 48   | 46   | 45   | 44   | 41   | 18—22                                         | 45                            |
| 20                                    | 67                                                                     | 66   | 65   | 64   | 62   | 60   | 59   | 55   | 16—22                                         | 45                            |
| 25                                    | 84                                                                     | 83   | 81   | 79   | 77   | 75   | 73   | 69   | 24—30                                         | 60                            |
| 30                                    | 101                                                                    | 99   | 97   | 95   | 92   | 90   | 88   | 83   | 28—38                                         | 700                           |
| 40                                    | 134                                                                    | 132  | 130  | 128  | 124  | 120  | 117  | 110  | 40—50                                         | 100                           |
| 50                                    | 168                                                                    | 165  | 162  | 159  | 154  | 150  | 146  | 138  | 50—60                                         | 120                           |
| 60                                    | 202                                                                    | 198  | 194  | 190  | 185  | 180  | 176  | 166  | 60—70                                         | 140                           |
| 80                                    | 269                                                                    | 264  | 259  | 255  | 246  | 240  | 234  | 221  | 70—80                                         | 160                           |
| 100                                   | 336                                                                    | 330  | 324  | 316  | 306  | 300  | 293  | 276  | 60—70                                         | 140                           |
| Автоматы А3130                        |                                                                        |      |      |      |      |      |      |      |                                               |                               |
| 120                                   | 403                                                                    | 396  | 389  | 380  | 369  | 360  | 351  | 331  | 65—75                                         | 150                           |
| 140                                   | 470                                                                    | 462  | 454  | 443  | 431  | 420  | 410  | 386  | 65—75                                         | 150                           |
| 170                                   | 571                                                                    | 561  | 551  | 536  | 523  | 510  | 497  | 469  | 68—78                                         | 150                           |
| 200                                   | 672                                                                    | 660  | 648  | 632  | 615  | 600  | 585  | 552  | 78—88                                         | 170                           |
| Автоматы А3140                        |                                                                        |      |      |      |      |      |      |      |                                               |                               |
| 250                                   | 840                                                                    | 825  | 810  | 790  | 769  | 750  | 731  | 690  | 60—70                                         | 140                           |
| 300                                   | 1008                                                                   | 990  | 968  | 943  | 923  | 900  | 878  | 828  | 65—75                                         | 150                           |
| 350                                   | 1176                                                                   | 1155 | 1134 | 1102 | 1076 | 1050 | 1024 | 966  | 65—75                                         | 150                           |
| 400                                   | 1344                                                                   | 1320 | 1296 | 1263 | 1230 | 1200 | 1170 | 1104 | 50—60                                         | 120                           |
| 500                                   | 1680                                                                   | 1650 | 1620 | 1580 | 1540 | 1500 | 1460 | 1380 | 50—60                                         | 120                           |
| 600                                   | 2020                                                                   | 1980 | 1940 | 1890 | 1845 | 1800 | 1755 | 1655 | 65—75                                         | 150                           |

контроле за правильностью выбора теплового элемента и в проверке времени срабатывания при значительных токах перегрузки с последующим сравнением фактических величин с типовыми, указанными на рис. 5.2 и 5.3. Если тепловой элемент не соответствует току нагрузки и номинальному току двигателя, его следует заменить, после чего собрать схему испытания, используя нагрузочный трансформатор. Ток в нагревательном элементе доводят до двух-трехкратного, по секундомеру контролируют время срабатывания реле, а затем сравнивают с тепловой характеристикой (см. рис. 5.2 и 5.3). Колебания времени срабатывания не должны превышать 10%. Все нагревательные элементы, имеющие большее время, должны заменяться новыми.

Длительность испытания не превышает 3—5 мин. Если за это время не происходит отключения, следует снизить ток до нуля и через 15—20 мин повторить испытание.

В крайнем случае, руководствуясь требованиями ГОСТ 2491-72 о том, что тепловая защита должна срабатывать при перегрузках свыше 20% в течение не более чем 20 мин с момента достижения пускателем номинальной температуры, можно пропускать через пускатель номинальный ток в течение 1 ч, а затем повысить его на 30% и проверить время срабатывания реле. Оно не должно превысить 20 мин. Если срабатывания не произойдет, тепловой элемент бракуют.

Проводя испытания, следует помнить, что на результаты его очень большое влияние оказывает температура окружающей среды. Ориентировочно можно считать, что с повышением температуры на 5° С испытательный ток следует уменьшить на 2—2,5%. Для подтверждения приводим рекомендации (табл. 5.4) по испытанию тепловых элементов в автоматах АЗ100 [23].

## § 5.2. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Конструкция выключателей постоянно претерпевает небольшие изменения, так как совершенствуются отдельные узлы. Следовать таким изменениям в любом руководстве по наладке не имеет смысла, целесообразнее излагать основные методы, одинаково присущие всем типам выключателей. Исходя из этого в качестве примера были выбраны два типа выключателей, получившие на практике, в Донбассе, наибольшее распространение. Это выключатели серии АВ и АЗ100.

*Автоматические выключатели серии АВ.* Все автоматические выключатели приспособлены для дистанционного управления с помощью двигательного или электромагнитного привода.

Контактная система выключателей АВ-4 и АВ-10 имеет три параллельные пары контактов:

главные: серебро — никель (подвижные) и серебро — никель графит (неподвижные); предварительные, медные и разрывные, —

медные (подвижные), неподвижные из металлокерамики (медь — графит).

При включении вначале замыкаются разрывные контакты 1 (рис. 5.4), затем предварительные 2 и, наконец, главные 5. Налаживая выключатель, следует не только проверять порядок замыкания, но и зазоры между предварительными контактами в момент касания разрывных и между главными контактами в момент касания предварительных (табл. 5.5).

Исходной базой служит раствор  $D$  разрывных контактов при отключении выключателя (рис. 5.4, б), а соответствующие величины зазоров приведены в табл. 5.5. При включенном выключателе

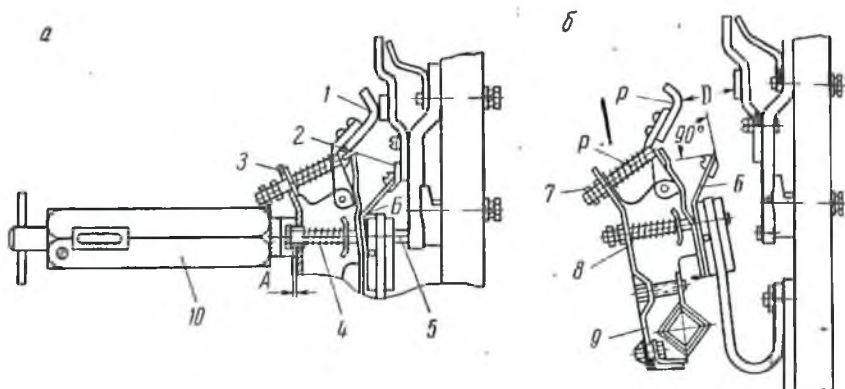


Рис. 5.4. Контактная система автоматического выключателя АВ-10:

а — включено; б — отключено; 1 — разрывной контакт; 2 — предварительный контакт; 3 — пружина разрывного контакта; 4 — пружина главного контакта; 5 — главные контакты; 6 — пружина подвижного контакта; 7 — регулировочные гайки дугогасящего контакта; 8 — регулировочные гайки главного контакта; 9 — главный вал; 10 — динамометр

проверяется только провал  $A$  главных контактов (рис. 5.4, а), остальные получаются автоматически из проверки зазоров в момент касания. Для того, чтобы убедиться в правильности конечного нажатия вспомогательных контактов, проверяют их начальное нажатие и сверяют с данными табл. 5.5.

Конечное нажатие получится в заданных пределах при соблюдении требуемых зазоров между контактами в процессе замыкания выключателя. Отдельно проверяется только нажатие главных контактов специальным динамометром 10. Полученные результаты должны совпадать с данными табл. 5.5.

При проверке под главный контакт кладут полоску бумаги по всей ширине контакта и включают автомат. Свипчивают контргайку, предназначенную для фиксации пружины 4 главного контакта, и на ее место навинчивают динамометр 10, а затем, удерживая динамометр за ручку, вращают его стакан до тех пор, пока не будет освобождена полоска бумаги. Полученные по шкале показан-

ния и будут соответствовать силе натяжения пружины. Начальные нажатия измеряются обычным способом. Места крепления крючка динамометра указаны на рис. 5.4, а.

Четкость работы автомата во многом зависит от качества наладки механизма свободного расцепления (рис. 5.5).

Проверка четкости работы механизма лучше всего осуществляется в процессе взвода его рукояткой управления с одновременным контролем за работой отдельных звеньев. Включение начинается с того, что рукоятку привода опускают в нижнее положение до отказа. В этом случае вал привода с рычагом 4, сидящем у него на шпопке (рис. 5.5, а), поворачивается по часовой стрелке, спрямляя «ломающиеся» звенья 8 и 9. В крайнем положении рычаг 4 должен упираться в валик 5. Звенья 8 и 9, переходя за мертвую точку, создают жесткую связь между рычагом 4 привода и рычагом 11 вала контактов «Ломающиеся» звенья 8 и 9 в мертвом положении фиксируются упором рычага, заходящим за зуб звена 9. В этот момент рычаг 6 находится в крайнем верхнем положении (рис. 5.5, б). Поворачивая рукоятку привода в верхнее положение, заставляем вращаться вал привода и рычаг 4 против часовой стрелки. Одновременно с ними поворачивается рычаг 11 вала контактов по часовой стрелке, постепенно замыкая все контакты выключателя.

Одновременно с рычагом 4 поворачивается рычаг 6, вращаясь по часовой стрелке вокруг оси 12 и растягивая пружину 13. При правильно отрегулированном приводе рычаг 6 должен после замыкания контактов пройти мимо полуоси 15 и зайти за нее на 5 мм (см. рис. 5.5, а). В этом положении рычага рукоятка привода займет крайнее верхнее положение, которое зафиксируется упором 1, сидящим на валу контактов (рис. 5.6) и ограничивающим корпусом 2 буфера дальнейшее движение вала контактов. При этом ролик 7 (см. рис. 5.5, а) не должен касаться панели автомата. Если теперь отпустить рукоятку привода, то зуб 14 рычага 6 упрется в скобу полуоси 15 и зафиксирует выключатель во включенном положении.

Надежность включения будет обеспечена, если скоба заходит в зуб 14 не менее чем на 1,5—2 мм.

Дальнейший заход скобы может вызвать заедание рычага 6 при отключении и отказ в срабатывании. Неправильный скос зуба 14 (скоба упирается не под прямым углом) может дать ложные срабатывания.

Зазор 5 мм между зубом 14 и скобой полуоси 15 можно отрегулировать, изменяя число шайб 3 (см. рис. 5.6), устанавливаемых на валик 4 буфера.

Отключение автомата вручную производят рукояткой привода. Переводя ее в нижнее положение, выводят рычаг 4 (см. рис. 5.5, а) из мертвого положения, вследствие чего происходит «падом» звеньев 8 и 9 и автомат отключается. Рычаг 6 остается в зацеплении со скобой полуоси 15.

Основные данные для регулировки автоматических выключателей

Таблица 5.5

| Автомат | Номинальный ток автомата, А | Пресмы регулировки катушки магнитного расцепителя, А | Эффективное значение тока в период выключения, кА |                         | Конечное нажатие главных контактов, кгс | Начальное нажатие контактов, кгс |           | Провал главных контактов, мм | Раствор главных контактов предварительных, мм | Раствор предварительных контактов при касании разрывных, мм | Раствор разрывных контактов, мм | Нажатие втычных контактов, кгс |
|---------|-----------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|-----------|------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|         |                             |                                                      | при напряжении до 400 В                           | при напряжении до 500 В |                                         | предварительных                  | разрывных |                              |                                               |                                                             |                                 |                                |
| AB-4    | 400                         | 100—400                                              | 17                                                | 10                      | 55                                      | Более 1                          | Более 3   | 2                            | 2,5                                           | 5                                                           | 60                              | 10—12                          |
| AB-10   | 800—1000                    | 500—1000                                             | 17                                                | 10                      | 55                                      | » 2                              | » 3       | 2                            | 2,5                                           | 5                                                           | 60                              | 10—12                          |
| AB-15   | 1000—1500                   | 800—1500                                             | 25                                                | 20                      | 170                                     | » 2                              | » 5       | 2                            | 2,5—3,5                                       | 5—7                                                         | 70                              | 10—12                          |
| AB-20   | 1500—2000                   | 1000—2000                                            | 30/25                                             | 20                      | 2×120                                   | » 2                              | » 5       | 2                            | 2,5—3,5                                       | 5—7                                                         | 70                              | 10—12                          |
| A3110   | 15—100                      | 150—1000                                             | 3,2—12                                            | 2,5—10                  | 0,5—1                                   | —                                | —         | 2,5—3,5                      | —                                             | —                                                           | 25                              | —                              |
| A3120   | 15—30                       | 430                                                  | 5,5—10                                            | 4,0—8,0                 | —                                       | —                                | —         | —                            | —                                             | —                                                           | —                               | —                              |
|         | 40—60                       | 600                                                  | 3,5—20                                            | 10,0—15                 | 1,8                                     | —                                | —         | 2,5                          | —                                             | —                                                           | —                               | —                              |
|         | 80—100                      | 800                                                  | 22,6—23                                           | 16,0—18                 | —                                       | —                                | —         | —                            | —                                             | —                                                           | —                               | —                              |
| A3130   | 120—200                     | 840—1400                                             | 19—30                                             | 14—25                   | 4—6                                     | —                                | —         | 2,0—3,0                      | —                                             | —                                                           | 12                              | —                              |
| A3140   | 250—600                     | 1750—4000                                            | 32—50                                             | 32—40                   | 8                                       | —                                | 5         | 2,0                          | 2,0                                           | —                                                           | —                               | —                              |

Примечание. Каждый автомат серии A3100 имеет магнитный расцепитель только на одну уставку, отрегулированный и опломбированный на заводе.

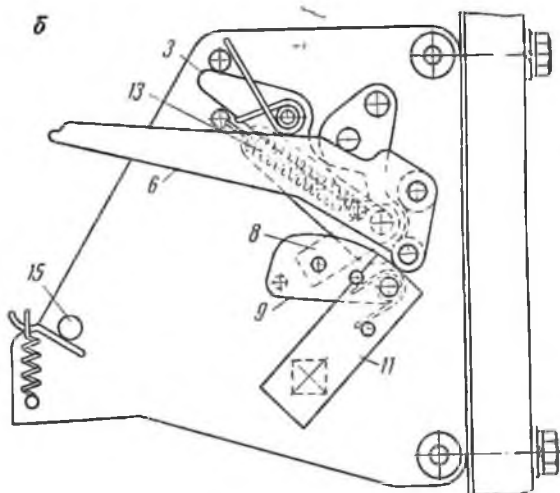
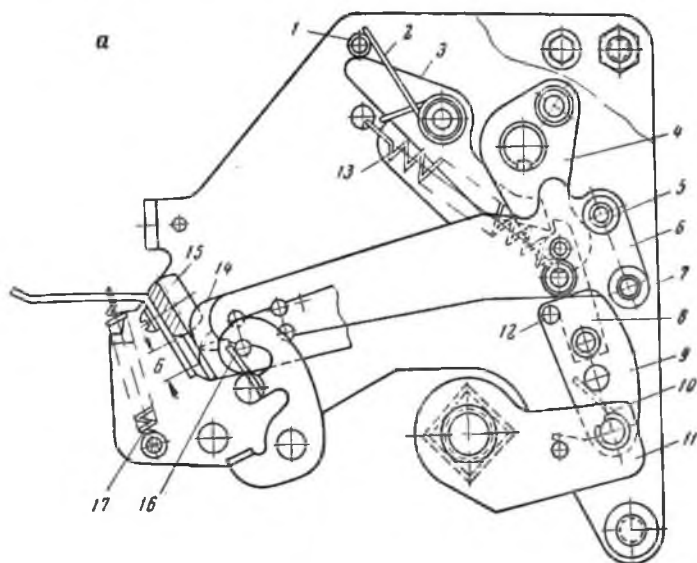


Рис. 5.5. Механизм свободного расцепления автоматического выключателя АВ-10:

а — во включенном положении; б — в отключенном положении; 1 — винт для завода пружины; 2 — пружина; 3 — упорный рычаг; 4 — рычаг вала привода; 5 — валик рычага; 6 — рычаг; 7 — ролик рычага; 8, 9 — ломающиеся звенья; 10 — пружина; 11 — рычаг вала контактов; 12 — ось; 13 — пружина рычага; 14 — зуб рычага; 15 — полусось; 16 — отключающая скоба; 17 — пружина скобы

При дистанционном отключении один из бойков, ударяя по планке, поворачивает полуось 15, выводя скобу из зацепления с зубом 14. Рычаг 6 под влиянием пружины 13 занимает верхнее положение, при этом он надавливает своим роликом 7 на ось «ломающихся» звеньев 8 и 9 и выводит их из мертвого положения, вызывая отключение контактов.

При наладке автоматического выключателя кроме регулировки механизма свободного расцепления и проверки силы нажатия контактов проводят электрические испытания, измеряя сопротивление изоляции главной цепи, силу тока при срабатывании максимальной защиты, сопротивление изоляции катушек вторичных цепей и выдержку времени, если установлен часовой механизм.

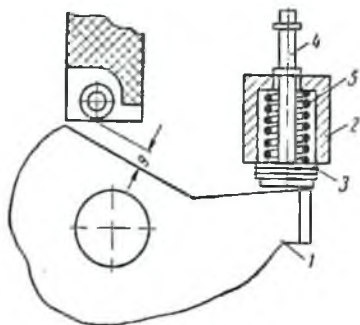


Рис. 5.6. Буфер:

1 — упор; 2 — конус буфера; 3 — шайбы; 4 — валтик; 5 — пружина буфера

Для проверки силы тока при срабатывании защиты выбирают схему, аналогичную со схемой проверки защиты в высоковольтных цепях. Только в данном случае вместо проверяемого трансформатора тока включают максимальную катушку автоматического выключателя.

У некоторых модификаций выключателей можно не проверять силу тока, а воспользоваться контрольной катушкой, насаженной на магнитопровод максимальной защиты. При обесточенном включенном автоматическом выключателе на контрольную катушку подают напряжение, указанное на щитке специально для этой катушки, и проверяют качество отключения.

*Автоматические выключатели серии АЗ100.* В соответствии с заводской инструкцией контактная часть автоматических выключателей АЗ110 рассчитана для работы без зачистки контактов и смены отдельных деталей, а встроенный расцепитель максимального тока заранее отрегулирован на заводе и дополнительной регулировки на месте монтажа или в процессе эксплуатации не требует, поэтому износившийся автомат заменяют новым без частичной замены контактной части или расцепителя. При наладке проверяют общепринятым способом только нажатие контактов и измеряют сопротивление изоляции.

В автоматических выключателях АЗ120, АЗ130, АЗ140 проверяют и регулируют всю контактную часть в соответствии с данными, указанными на рис. 5.7 и приведенными в табл. 5.6.

Выключатель рассчитан для работы до полного его использования без зачистки контактов и смены каких-либо частей. Выключатель надо содержать в чистоте. При обычных условиях выключатель

чатель достаточно осматривать, снимая крышку, раз в шесть месяцев. Независимо от этого осмотр рекомендуется производить после каждого отключения к. з. После повторного отключения к. з. осмотр необходим. При осмотре нужно очистить выключатель

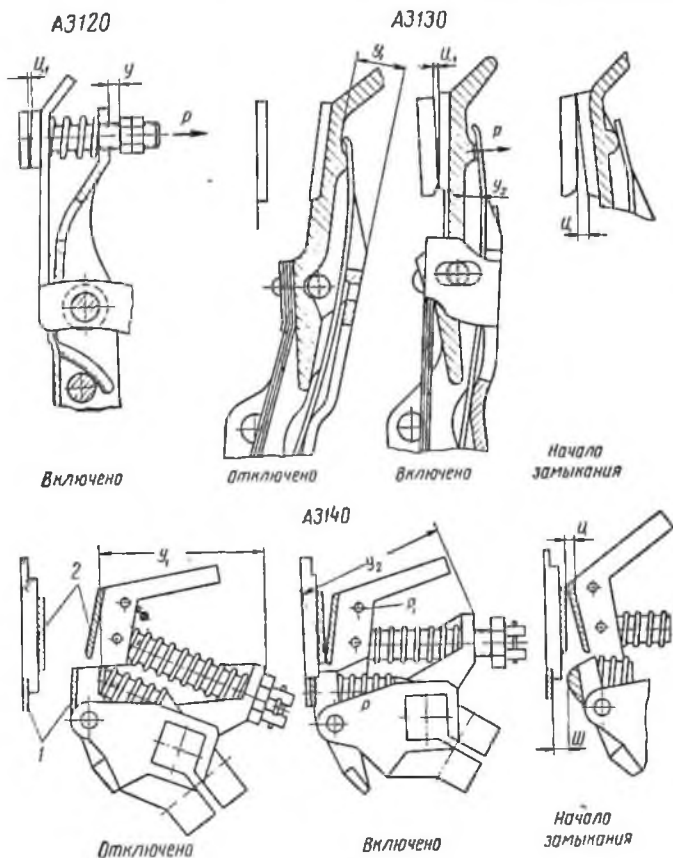


Рис. 5.7. Основные характеристические величины контактов у автоматов серии А31000:

$y$  или  $(y_1 - y_2)$  — провал контактов;  $u$  — начальная непараллельность контактов;  $u_1$  — конечная непараллельность контактов;  $ш$  — зазор между главными контактами в момент начала замыкания дугогасительных контактов; 1 — главные контакты; 2 — дугогасительные контакты

от копоти и корольков металла, проверить затяжку винтов, целостность пружин и состояние контактов. Если толщина серебряного (металлокерамического) слоя или провал контактов  $y$  и  $y_1 - y_2$  (см. рис. 5.7) станут меньше 0,5 мм, то выключатель нужно сменить. Если в выключателе А3140 или А3140Т опережение  $III$  дугогасительного контакта 2 относительно главного контакта 1

Т а б л и ц а 5.6

Основные данные заводской регулировки выключателей АЗ100

| Параметры                                         | Выключатели      |                  |                  |
|---------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                                   | АЗ120,<br>АЗ120Т | АЗ130,<br>АЗ130Т | АЗ140,<br>АЗ140Т |
| Провал контактов $y$ , $y_1—y_2$ , мм, не менее   | 2,5              | 2,0              | 2,0              |
| Нажатие контактов $p$ , кгс, не менее . . . . .   | 1,8              | 4,0              | 8,0              |
| Нажатие контактов $p_1$ , кгс, не менее . . . . . | —                | —                | 5,0              |
| Опережения замыкания разрывных контактов          |                  |                  |                  |
| $u$ , мм, не менее . . . . .                      | —                | —                | 2,0              |
| Непараллельность контактов в начале замыка-       |                  |                  |                  |
| ния $u$ , мм . . . . .                            | —                | 0—1,2            | 0—0,8            |
| Непараллельность контактов в конце замыка-        |                  |                  |                  |
| ния $u_1$ , мм . . . . .                          | 0—0,5            | 0—0,5            | —                |
| Неоднородность замыкания контактов разных         |                  |                  |                  |
| полосов (для АЗ140 и АЗ140Т — разрывных),         |                  |                  |                  |
| мм, не более . . . . .                            | 0,5              | 0,5              | 0,5              |
| Отклонение тока срабатывания электромагнит-       |                  |                  |                  |
| ного элемента от номинальной уставки, %           | 15               | 15               | 15               |
| Напряжения четкого срабатывания дистанцион-       |                  |                  |                  |
| ного расцепителя, % номинального . . . . .        | 75—105           | 75—105           | 75—105           |

окажется менее 1 мм, его нужно увеличить до 2 мм свинчиванием гайки.

Шарниры механизма выключателя следует периодически примерно через 2—3 тыс. включений смазывать приборным вазелиновым маслом.

Крышка расцепителя максимального тока опечатана. Не следует ее снимать, переставлять регулировочные винты и гайки, подгибать биметаллическую пластинку и т. д., так как это может нарушить правильную работу и вызвать аварию.

Расцепители у всех автоматов, начиная с АЗ120 и выше, съемные и при необходимости могут быть заменены другими на требуемую силу тока.

### § 5.3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ НАЛАДКА ЭЛЕКТРОМАШИННОГО УСИЛИТЕЛЯ (ЭМУ)

Приступая к предварительной наладке ЭМУ, прежде всего составляют программу работы:

осматривают все токоведущие части агрегата, очищают их от грязи и пыли, проверяют свободу вращения якоря, наличие смазки в подшипниках, удаляют антикоррозионные покрытия и транспортные узлы;

проводят предварительные испытания в соответствии с требованиями ПУЭ;

проверяют и настраивают обмотки управления, компенсационную и обмотки якоря;

проверяют и регулируют положение щеточного аппарата; снимают характеристики намагничивания, внешние и нагрузочные и, учитывая условия работы усилителя в общей схеме управления, принимают решение о предварительном выборе вида характеристик. С учетом перечисленных условий и будет построен дальнейшее положение материала.

Вопросы ревизии и испытаний подробно рассматривались ранее, поэтому в дальнейшем изложении они опущены. Следует только уделить некоторое внимание проверке щеточного аппарата и коллектора, так как от их состояния зависит не только безаварийная работа усилителя, но и коэффициент усиления. Это нетрудно уяснить непосредственно из принципа работы усилителя. Как известно, первая ступень усиления пропорциональна силе тока в обмотке возбуждения, а вторая — силе тока в короткозамкнутой ветви, которая, в свою очередь, зависит от э. д. с., создаваемой в короткозамкнутой цепи, и от переходных сопротивлений в щеточном контакте и соединительных проводах.

Даже в хорошо пригнанном щеточном аппарате сопротивление щеточного контакта при небольших токах колеблется от нескольких ом (2,0—2,5) до долей ома и только при токе в 2,5—3 А оно стабилизируется, уменьшаясь до 0,5—0,6 Ом. Эти цифры еще раз подчеркивают необходимость хорошей предварительной подгонки щеток и шлифовки коллектора. При частоте вращения ЭМУ в 3000 об/мин считается допустимым биение коллектора в пределах 0,04—0,05 мм. Пригонка щеток должна обеспечивать их прилегание минимум на 80% всей поверхности щетки, причем считается недопустимым отсутствие прилегания вдоль всей длины части щеток. Для получения хорошего щеточного контакта необходимо предварительно притереть щетки самой мелкозернистой стеклянной бумагой, а затем в течение 5—10 ч дать проработать ЭМУ на х. х., разомкнув предварительно цепь поперечных щеток. Включая ЭМУ, необходимо проследить, чтобы направление его вращения совпадало со стрелкой на корпусе.

Следующий этап — определение полярности выводов обмоток. Для этого на одну из четырех обмоток возбуждения через небольшой рубильник включают батарейку или аккумулятор, проверяя вольтметром постоянного тока ее полярность. Милливольтметр, подключенный на любую другую обмотку, дает отклонение в положительную сторону в момент замыкания рубильника, если полярности этих обмоток совпадают, и наоборот. Начало обмоток завод обычно помечает  $0I_1—0IV_1$ , а концы —  $0I_2—0IV_2$  (рис. 5.8). Аналогичным образом проверяют полярность щеток поперечной оси (предварительно разомкнув ее) по отношению к обмоткам управления.

После определения полярности следует проверить положение щеточного аппарата относительно нейтральной независимо для каждой пары щеток (продольной и поперечной). В обоих случаях применяют индуктивный метод. Вначале проверяют щетки поперечной

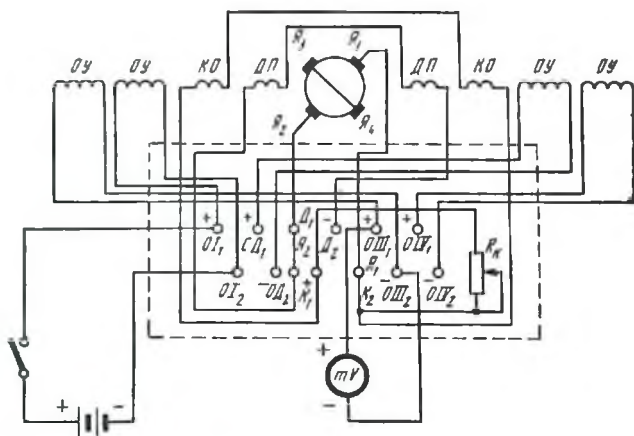


Рис. 5.8. Схема подключения приборов для определения полярности обмоток ЭМУ

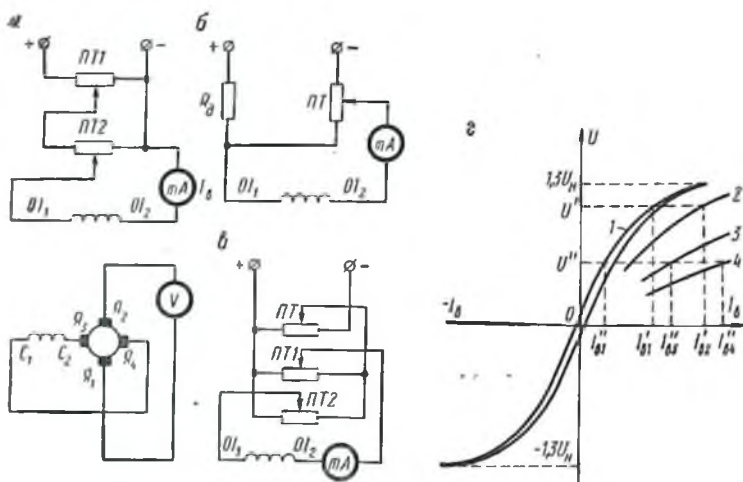


Рис. 5.9. Снятие характеристик х.х. ЭМУ:

а — схема с двумя потенциометрами; б — схема с потенциометром и сопротивлением; в — схема с тремя потенциометрами; г — характеристики х. х. ЭМУ

оси, а затем продольной. Траверсы должны закрепляться когда милливольтметр дает минимальные отклонения. Проводя эту работу при включении батареи на зажимы  $Я_3-Я_4$ , необходимо дополнительно сопротивлением снизить импульсный ток в цепи якоря до 0,3—0,8 А. Кроме того, необходимо учитывать влияние сдвига щеток с нейтрали на величину напряжения ЭМУ. Если сдвигать щетки против направления вращения, можно получить значительное увеличение напряжения, и наоборот, т. е., сдвигая щетки с нейтрали, мы сможем получить значительное уменьшение характеристик ЭМУ (далее это будет выяснено более подробно).

Снятие характеристик — наиболее ответственный участок работы, так как только после получения их можно окончательно установить коэффициент усиления и величину мертвой зоны. Предварительный результат для возможности настройки компенсации дает снятие характеристики х. х.

Приступая к снятию характеристики, собирают схему, в которой используют или три потенциометра, или потенциометр и добавочное сопротивление (рис. 5.9), в последнем случае необходимо сохранить отношение  $R_n/R_d$  в пределах 1/5—1/8, где  $R_n$  — сопротивление потенциометра, Ом;  $R_d$  — добавочное сопротивление, Ом. Характеристика должна иметь вид полной петли гистерезиса с наибольшей величиной напряжения, равной 1,25—1,35  $U_n$ . Для проверки количества витков остальных обмоток возбуждения снимают по несколько точек для каждой обмотки и строят соответствующие кривые. Используя отношения

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{w_2}{w_1}; \quad \frac{i_1}{i_3} = \frac{w_3}{w_1}; \quad \frac{i_1}{i_4} = \frac{w_4}{w_1},$$

справедливые для одного и того же напряжения якоря ЭМУ, можно определить число витков остальных обмоток. Полученные результаты необходимо сравнить с заводскими данными.

Снимая характеристики х. х., одновременно выясняют влияние сдвига щеток. Для этого сдвигают щетки по направлению вращения на  $\beta = 2, 4, 6$  и 8 мм при каждом из этих положений получают данные при изменении тока возбуждения в одной из обмоток управления в пределах 0— $I_{н.н}$ —0. По полученным результатам строят соответствующие кривые. Эти величины облегчают окончательный выбор места установки щеток с учетом условий работы ЭМУ. В качестве примера на рис. 5.10 даны подобные кривые для ЭМУ-25.

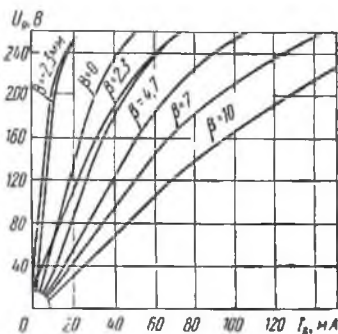


Рис. 5.10. Кривые х. х. ЭМУ-25 при разном сдвиге щеток с нейтрали на величину  $\beta$

Настройку компенсации выполняют после снятия характеристик х. х. Обычно н. с. компенсационной обмотки КО (рис. 5.11) несколько больше н. с. намагничивания, поэтому при полном ее использовании с ростом нагрузки может возникнуть недопустимое повышение напряжения. Для определения границ влияния компенсационной обмотки снимают несколько внешних характеристик при различной величине шунтирующего сопротивления. Порядок снятия характеристик следующий.

Собирают схему в соответствии с рис. 5.11, а, включают ЭМУ и записывают показания вольтметра при разомкнутом рубильнике  $P$ , затем, подбирая величину регулировочного сопротивления

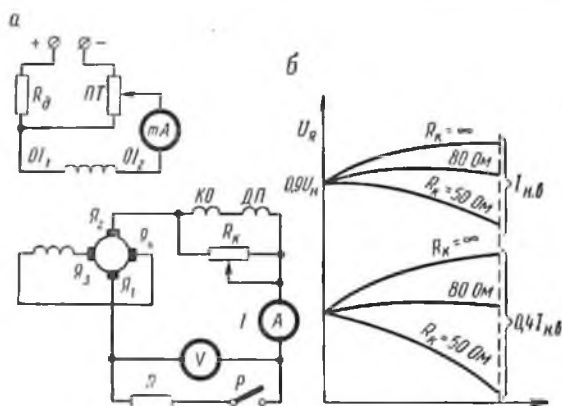


Рис. 5.11. Снятие внешних характеристик ЭМУ:  
а — схема; б — характеристики

с таким расчетом, чтобы ток примерно равнялся 120—130% номинального, включают рубильник и записывают показания приборов. Увеличивая сопротивление на 30, 50, 80 и 100%, каждый раз записывают показания приборов. Такие же измерения повторяют при различных значениях сопротивления, шунтирующего компенсационную обмотку  $R_K$ . Если обработать полученные результаты и построить кривые в координатах напряжение якоря — ток нагрузки, получим семейство кривых, характеризующее работу ЭМУ в области напряжений, близких к номинальному. Для уточнения вопросов устойчивости и неизменности коэффициента усиления следует получить аналогичное семейство кривых для напряжения, близкого к 30—40% номинального. Для этого проводят такой же цикл измерений, предварительно отрегулировав задающей обмоткой напряжение якоря ЭМУ на значение, равное  $(0,35—0,45)U_n$  при разомкнутом рубильнике  $P$ . Этот опыт необходим, так как при понижении напряжения действие компенсационной обмотки сказывается сильнее (рис. 5.11, б).

Выбрать наиболее выгодную кривую для заданных эксплуатационных условий и тем самым установить величину компенсационного сопротивления можно только при окончательной наладке ЭМУ в общей схеме управления. Для схем автоматического регулирования чрезвычайно важно приближать как можно больше наклон внешней характеристики к горизонтальной прямой. Однако по мере приближения ее к горизонтальной прямой устойчивость работы ЭМУ уменьшается, так как компенсационная обмотка по сути дела является положительной обратной связью.

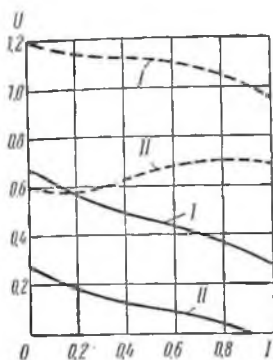


Рис. 5.12. Внешние характеристики ЭМУ при сдвиге щеток поперечной цепи по направлению вращения на  $2,5^\circ$  — сплошные линии, щетки на нейтрали — пунктирные линии

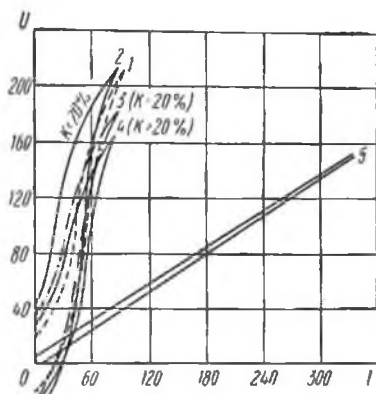


Рис. 5.13. Петля гистерезиса:

1—4 — при разном влиянии компенсационной обмотки; 5 — введена отрицательная обратная связь при  $K = 20\%$

Окончательную оценку устойчивости работы ЭМУ можно получить только из анализа всей схемы управления, поэтому после получения нескольких внешних характеристик с разными наклонами к горизонтальной прямой работы по их оценке временно прекращают и приступают к снятию нагрузочных характеристик при разном положении щеток относительно нейтрали, так как их положение тоже влияет на наклон внешней характеристики.

На рис. 5.12 показаны кривые, полученные при разном положении щеток относительно нейтрали и неизменной компенсации.

После окончания этой работы приступают к снятию петли гистерезиса при разном величине отрицательной обратной связи.

Однако ограничиваться характеристиками х. х. в этом случае уже нельзя, так как компенсационная обмотка значительно влияет на ширину петли гистерезиса (рис. 5.13) и время протекания переходных процессов. Таким образом, суждение о возможных графиках коэффициента усиления и ширине петли гистерезиса можно сделать, получив семейство кривых, дающих зависимость

$U = f(i_n)$  при различных токах отрицательной обратной связи и заданной величине нагрузки (рис. 5.14). Если режим работы предусматривает реверсирование ЭМУ, следует снимать полные петли гистерезиса. При использовании ЭМУ в схемах динамического торможения можно ограничиться снижением тока возбуждения до нуля без изменения его направления.

Снимая эти характеристики, необходимо одновременно убедиться в отсутствии намагничивания ЭМУ. Об этом явлении свидетельствует смещение центра петли относительно оси координат. В этом случае для получения одинаковой величины положительного и отрицательного напряжений требуется разная н. с., что при работе явно недопустимо.

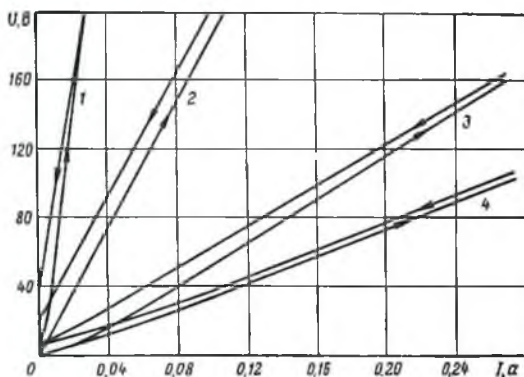


Рис. 5.14. Петли гистерезиса при работе ЭМУ под нагрузкой:

1 — без отрицательной обратной связи; 2—4 — разная величина отрицательной обратной связи

Условимся считать: положительным — намагничивание, при котором петля гистерезиса проходит выше оси координат, т. е. для получения положительной величины напряжения потребуются меньшая н. с., чем для получения такого же отрицательного напряжения; отрицательным — намагничивание, при котором центр петли гистерезиса находится ниже оси абсцисс.

Для ликвидации смещения центра петли гистерезиса следует перемагнитить ЭМУ. С этой целью двигатель ЭМУ отключают от сети и после остановки несколько раз включают толчком постоянный ток в 100—150 мА в задающую обмотку ЭМУ. Направление тока в задающей обмотке зависит от характера намагничивания. При положительном намагничивании включаемый ток должен создавать отрицательную н. с., и наоборот. После этого снова включают ЭМУ и проверяют величины напряжения при максимальных положительных и отрицательных н. с. Если отсутствует равенство напряжений, все повторяют снова, контролируя при этом, какое напряжение получилось большим по абсолютной

величине, и в соответствии с этим подбирают направление и силу тока. Размагничивание считается полным, если отрицательное и положительное напряжения станут равными по величине.

После снятия характеристик для построения петель гистерезиса проводят несколько опытов по определению постоянной времени при всего ЭМУ, или отдельно первой и второй ступени при разных величинах положительной и отрицательной обратной связи, если ЭМУ используется в схеме автоматического регулирования. Подробно этот вопрос будет рассмотрен позже при описании окончательной палочки ЭМУ в схеме автоматического регулирования.

#### § 5.4. ТАХОГЕНЕРАТОРЫ

В настоящее время тахогенераторы применяют для самых различных целей как в цепях автоматики, так и для целей защиты и управления. В зависимости от задач, для решения которых предназначен тахогенератор, изменяются и требования, предъявляемые к его палочке. Наиболее полный перечень требований, предъявляемых к тахогенераторам, нам кажется, можно свести к следующему:

малая зависимость напряжения от изменения внешней температуры;

сведение к минимуму колебаний напряжения, вызванных изменением нагрузки в цепи тахогенератора;

выяснение влияния колебаний напряжения и пульсаций напряжения на работу аппаратов, включенных в цепи тахогенератора;

выяснение причин появления напряжений и пульсаций напряжения тахогенератора;

выяснение величины зазора на валу тахогенератора.

Как известно, при изменении температуры на  $1^\circ\text{C}$  сопротивление медной обмотки изменяется примерно на  $0,4\%$ ; таким образом, при изменении температуры обмотки на  $30-40^\circ\text{C}$  как вследствие нагрева обмотки током, так и благодаря влиянию температуры окружающей среды могут возникнуть колебания напряжения тахогенератора в пределах  $10-15\%$ , а это опасно как в цепях автоматического регулирования, так и в цепях защиты (ограничители скорости).

Для уменьшения колебаний напряжения необходимо:

стабилизировать напряжение, подводимое к обмотке возбуждения тахогенератора, или применить тахогенератор с индуктивными полюсами;

включить последовательно с обмоткой возбуждения тахогенератора резистор из константана или инхрома, причем отношение сопротивления полюсов к добавочному сопротивлению целесообразно выбрать в пределах  $1/3-1/4$ .

Эти мероприятия обычно дают возможность свести колебания напряжения, вызванные колебаниями температуры обмотки, до  $3-4\%$   $U_n$  тахогенератора.

Приступая к наладке тахогенератора, необходимо выяснять отношение тока нагрузки при максимальном напряжении тахогенератора к его номинальному току. Для правильной работы тахогенератора целесообразно иметь это отношение в пределах 1/4—1/5.

Очень часто тахогенераторы, поставляемые вместе с машинами, имеют малую мощность, вследствие чего во время работы под влиянием изменения нагрузки в цепи тахогенератора возникают колебания напряжения, снижающие точность работы системы автоматического регулирования или увеличивающие ошибку в аппаратах контроля (электрические ограничители скорости подъемных машин). Для ликвидации подобных явлений целесообразно изменить (увеличить) коэффициент усиления системы по току, введя дополнительную ступень в цепь задания или включив последовательно еще обмотку задания.

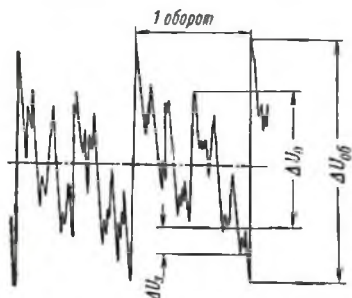


Рис. 5.15. Примеры пульсаций напряжения тахогенератора:

$\Delta U_{об}$  — скоростные;  $\Delta U_{п}$  — полусные;  
 $\Delta U_{з}$  — зубцовые

Иногда на качество работы оказывают влияние пульсации и колебания напряжения в цепи тахогенератора. Оставляя в стороне колебания напряжения тахогенератора, вызванные упругими свойствами каната, подпружиненного редуктора и валопровода,

так как это очень большой вопрос, требующий специального анализа, следует упомянуть о колебаниях напряжения от неточной центровки, биения и перекоса полумуфт, соединяющих тахогенератор с машиной. Из [27] известно, что двойной размах колебаний прямо пропорционален эксцентриситету валов и обратно пропорционален диаметру, на котором расположены пальцы полумуфт (муфты МУВП) или зубья (зубчатые муфты). Известно, что любое биение, перекося полумуфт и т. д. можно выразить через эксцентриситет, и наоборот [30], поэтому, проверяя центровку тахогенератора методами, изложенными в литературе, необходимо очень тщательно выяснить величину торцового и радиального биения каждой полумуфты [30] и принимать меры по их взаимной локализации, а саму центровку выполнять с допусками, обеспечивающими практически полное отсутствие эксцентриситета.

Кроме колебаний напряжения, вызванных неточностями центровки, существуют пульсации напряжения от несимметрии магнитного поля (полусные пульсации) и от формы зубцов якоря (зубцовые пульсации) (рис. 5.15). Двойной размах этих пульсаций зависит от числа оборотов (прямо пропорционален ему). В большинстве случаев они не влияют на точность регулирования, однако в некоторых случаях, когда их частота будет близка к соб-

ственной частоте цепи управления, они могут отрицательно повлиять на точность регулирования. Подобные пульсации хорошо сглаживаются соответствующим подбором цепочек  $RC$ .

Окончательное суждение о форме кривой напряжения тахогенератора выносят на основании осциллограммы. Осциллограмму напряжения следует снимать при установившейся скорости машины, причем целесообразно получить несколько снимков при скоростях, близких к 25, 50, 75 и 100% номинальной скорости машины, для выделения колебаний, вызванных неточностью центровки и различного вида пульсациями и принятия окончательного решения о необходимости уменьшения того или иного вида колебаний напряжения.

Одновременно выявляют и влияние зазоров, имеющихся в валопроводе тахогенератора, на кривую напряжения. Для этого во время осциллографирования напряжения тахогенератора при неизменной скорости внезапно отключают двигатель и прикладывают значительный тормозной момент и затем мгновенно его убирают. Колебания напряжения на осциллограмме свободного выбега будут характеризовать влияние зазоров на кривую напряжения тахогенератора. Проводя этот опыт, следует исключить влияние упругости каната и отдельных звеньев машины, поэтому лучше всего на подъемных установках его проводить до навески канатов, а тормозную систему регулировать на максимальную скорость нарастания усилия.

### § 5.5. МАГНИТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ (МУ)

Развитие схем автоматизации подъемных и вентиляторных установок значительно расширило область применения магнитных усилителей в стационарных установках на угольных шахтах, усложнились и задачи, решаемые с их помощью, поэтому наладчику необходимо не только знать минимальный объем испытаний, но и четко представлять как физические процессы, происходящие в МУ, так и возможные варианты применения различных схем включения МУ.

Принципиальная схема МУ с последовательно включенными рабочими обмотками приведена на рис. 5.16. Усилитель имеет рабочие обмотки  $W_{II}$ , через которые проходит переменный ток, и обмотку управления  $W_U$ , питаемую от источника постоянного тока. При пропускании тока через обмотку  $W_U$  в определенную часть периода возникает насыщение магнитопровода, вследствие чего индуктивное сопротивление рабочих обмоток значительно уменьшается и обмотки переходят в режим к. з., пропуская рабочий ток. Изменяя величину тока управления, регулируют момент возникновения в течение полупериода рабочего тока (рис. 5.17) и тем самым меняют форму и длительность протекания тока нагрузки. При значительном увеличении тока управления усилители все время будут находиться в режиме насыщения и ток

нагрузки дальше расти не будет. На рис. 5.17 показаны мгновенные значения токов и напряжений. Приборы показывают их эффективные величины и не регистрируют мгновенных колебаний, поэтому, измеряя зависимость тока нагрузки от тока управления и нанося соответствующие точки на график, можно получить плавную кривую изменения тока нагрузки в функции тока управления (рис. 5.18). Нижняя точка характеристики (рис. 5.18, а) соответствует току х. х. МУ, при котором индуктивное сопротивление наибольшее. Начиная от точки а и до точки б с ростом тока

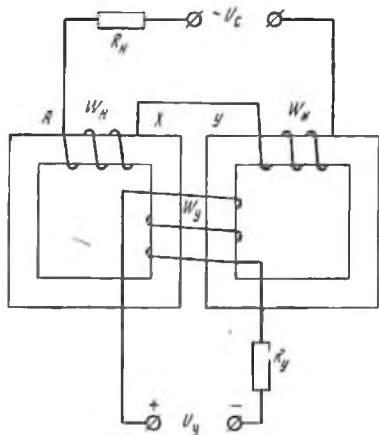


Рис. 5.16. Принципиальная схема магнитного усилителя с последовательными включенными обмотками;

$R_n$  — сопротивление нагрузки;  $R_y$  — сопротивление цепи управления;  $U_y$  — напряжение сети переменного тока;  $U_c$  — напряжение цепи управления

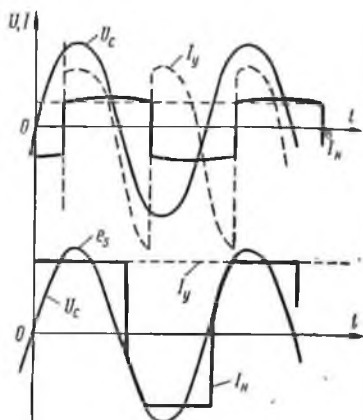


Рис. 5.17. Изменение нагрузочного тока  $I_n$  в функции тока управления  $I_y$ ;  $e_3$  — напряжение, наведенное в обмотке управления

управления индуктивное сопротивление будет линейно уменьшаться и ток нагрузки будет плавно увеличиваться. В точке возникает насыщение, и дальнейшего увеличения тока нагрузки не происходит. Этому режиму соответствуют кривые, показанные на рис. 5.18, б. Из анализа рис. 5.18 следует, что при одном и том же направлении тока управления каждая рабочая обмотка М будет работать на одной полувольте периода переменного тока, вторая полувольта будет всегда соответствовать режиму х. х. На рис. 5.18 этому процессу будет соответствовать одна ветвь характеристики (предположим, правая). При изменении направления тока управления насыщение будет наступать при второй полувольте переменного тока (в той же самой рабочей обмотке, что соответствует второй ветви характеристики (левой)). Так как рабочие обмотки работают только на одной полувольте, э. д. с наведенные ими в обмотках управления, будут смещены во вр

мени и не будут вычитаться, хотя рабочие обмотки включены встречно, но зато результирующая в. д. с., наведенная в обмотке управления, будет иметь двойную частоту (см. рис. 5.17).

Иногда вместо встречного последовательного соединения рабочих обмоток применяют встречное параллельное соединение. Физические процессы, происходящие в обмотках, при этом несколько отличаются от описанных выше, но основные законы, по которым происходит работа МУ, остаются прежними, поэтому подробное описание режима работы опускается. Физическая картина явлений, происходящих в магнитных усилителях, хорошо освещена в большом количестве опубликованных монографий.

В действительности МУ имеют не одну обмотку управления, а несколько (обычно шесть), они имеют разные характеристики и могут применяться для самых различных целей: обратных связей, смещения, стабилизации и т. д.

Более подробно следует остановиться на роли положительных и отрицательных обратных связей. Как известно, обратная связь усиливает или ослабляет входную величину. В первом случае говорят о положительной обратной связи, во втором — об отрицательной. Типичными примерами машин с обратными связями служат генераторы постоянного тока с параллельной и последовательной обмотками и ЭМУ.

В первом случае напряжение выхода, т. е. напряжение генератора, зависит от напряжения, приложенного к параллельной обмотке, — напряжения входа и от полярности включения последовательной обмотки (обратная связь). Если последовательная обмотка включена таким образом, что магнитный поток, возникающий от ее влияния, усиливает общий магнитный поток, получится положительная обратная связь, и наоборот.

Во втором случае, включая одну из обмоток ЭМУ на напряжение выхода, усиливают задающий магнитный поток (положительная обратная связь) или уменьшают его (отрицательная обратная связь).

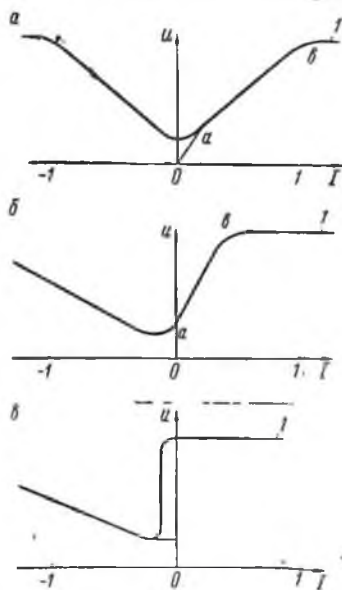


Рис. 5.18. Характеристика магнитоусилителя:

а — без введения обратной связи; б — при наличии обратной связи; в — при обратной связи с бесконечно большим коэффициентом усиления

Такую же роль обратные связи играют и в магнитном усилителе, причем наибольшее распространение получили внешние жесткие обратные связи и внутренние обратные связи. При внешней обратной связи одна из обмоток управления включается на напряжение или ток нагрузки (рис. 5.19). При положительной обратной связи ее н. с. складывается с н. с. обмотки управления, в результате чего для получения одного и того же тока нагрузки при наличии обратной связи ток в задающей обмотке будет меньше. Это соответствует повороту характеристики влево (см. рис. 5.18, б)

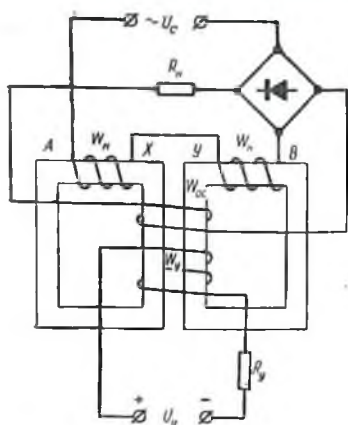


Рис. 5.19. Магнитные усилители с внешней обратной связью

Увеличивая обратную связь, можно получить режим, при котором возникает наибольший нагрузочный ток при отключенной обмотке управления, это так называемый релейный режим (см. рис. 5.18, в). Величина коэффициента усиления при наличии обратной связи

$$k_y = \frac{w_y}{(1 + k_{0, c}) w_n}; \quad (5.4)$$

$$k_{0, c} = \frac{w_{0, c}}{w_n}, \quad (5.5)$$

где  $w_y$  — число витков обмотки управления;  $w_{0, c}$  — число витков обмотки обратной связи;  $w_n$  — число витков рабочей обмотки (см. рис. 5.19).

Коэффициент усиления можно изменить, меняя число витков обмотки обратной связи (выбор типа обмотки), но значительно чаще это осуществляют, шунтируя часть резистора, последовательно включенного с обмоткой обратной связи.

При введении отрицательной обратной связи усилитель будет работать в области токов, значения которых лежат влево от точки х. х. Соответствующие оси положительной и отрицательной обратных связей приведены на рис. 5.18. Иногда кроме жесткой обратной связи, работа которой характерна для установившихся значений токов и напряжений, применяются гибкие обратные связи, действующие во время переходных процессов. В этом случае обмотки обратных связей чаще всего включаются последовательно с емкостями. Расчет таких обратных связей зависит от характера протекания переходного процесса. Кроме внешних обратных связей, широкое распространение получили схемы магнитных усилителей с внутренними обратными связями (рис. 5.20). Смысл обратной связи остается прежним, но добавление или вычитание н. с. к основной н. с. обмотки управления осуществляется не за счет введения дополнительной обмотки обратной связи, а исключением из работы в течение полупериода одной из обмоток, по-

этому в таком усилителе не происходит полного размагничивания сердечников и в следующий полупериод достаточно протекает через него ток х. х. для того, чтобы перевести усилитель в режим к. з. Момент перехода усилителя в режим к. з. будет зависеть от степени размагничивания сердечника, а ее можно регулировать небольшим током управления в задающей обмотке.

Для параллельного МУ с внутренней обратной связью величина коэффициента усиления по току

$$k_v = \frac{2W_y}{(1 \pm k_{o, c}) W_{II}} \quad (5.6)$$

Основные характеристики обмоток МУ типа ТУМ-В приведены в табл. 5.7. Испытание магнитных усилителей осуществляют по

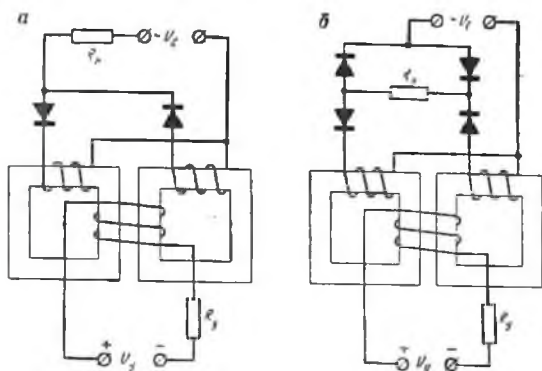


Рис. 5.20. Схемы магнитных усилителей с внутренней обратной связью:

а — с выходом на переменном токе, б — с выходом на постоянном токе

программе, близкой к программе испытания обычных трансформаторов напряжения, однако имеются и свои особенности, поэтому целесообразно остановиться на методике проведения каждого вида испытаний:

1) измеряют сопротивление изоляции мегомметром на 1000 В. Проверяя изоляцию относительно корпуса, все обмотки электрически соединяют между собой и по общепринятым правилам подсоединяют к одному зажиму мегомметра, а второй зажим соединяют с корпусом. Измеряя сопротивление изоляции одной обмотки относительно других, ее подсоединяют к одному зажиму мегомметра, а все остальные, электрически соединяя между собой, подсоединяют ко второму;

2) измеряют омическое сопротивление обмоток по методу амперметра — вольтметра или мостом постоянного тока;

3) проверяют маркировку концов обмоток и их полярность вольтметром. Подключая к проверяемой обмотке управления

Таблица 5.7

## Данные обмоток управления магнитных усилителей ТУМ-Б

| Обозначение обмотки | Показатели            | ТУМ-Б1 | ТУМ-Б2 | ТУМ-Б3 | ТУМ-Б4-1 | ТУМ-Б4-2 | ТУМ-Б4-3 | ТУМ-Б5-1 | ТУМ-Б5-2 | ТУМ-Б5-3 | ТУМ-Б5-4 | ТУМ-Б5-5 |
|---------------------|-----------------------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1Н — 1К             | Номинальный ток, мА   | 93,0   | 160,0  | 283,0  | 152,0    | 248,0    | 90,0     | 224,0    | —        | 224,0    | 125,0    | —        |
|                     | Длительный ток, мА    | 195,0  | 330,0  | 660,0  | 330,0    | 800,0    | 330,0    | 805,0    | —        | 805,0    | 270,0    | —        |
|                     | Сопротивление, Ом     | 3,2    | 1,0    | 0,39   | 1,56     | 0,57     | 2,95     | 0,0      | —        | 0,9      | 2,88     | —        |
| 2Н — 2К             | Номинальный ток, мА   | 13,0   | 17,8   | 21,3   | 21,0     | 12,4     | 21,0     | 26,0     | —        | 14,0     | 375,0    | 28,0     |
|                     | Длительный ток, мА    | 63,0   | 58,0   | 55,0   | 52,0     | 51,0     | 52,0     | 72,0     | —        | 48,0     | 270,0    | 72,0     |
|                     | Сопротивление, Ом     | 53,0   | 54,0   | 55,0   | 77,0     | 144,0    | 77,0     | 60,0     | —        | 165,0    | 0,95     | 55,0     |
| 3Н — 3К             | Номинальный ток, мА   | 4,4    | 5,7    | 6,1    | 9,0      | 12,4     | 9,0      | 11,2     | 6,4      | 11,2     | 28,0     | —        |
|                     | Длительный ток, мА    | 63,4   | 58,0   | 55,0   | 74,0     | 51,0     | 74,0     | 72,0     | 425,0    | 48,0     | 210,0    | —        |
|                     | Сопротивление, Ом     | 154,0  | 163,0  | 190,0  | 124,0    | 144,5    | 124,0    | 128,0    | 43,0     | 220,0    | 16,2     | —        |
| 4Н — 4К             | Постоянная времени, с | 0,228  | 0,227  | 0,327  | 0,378    | 0,179    | 0,378    | 0,398    | 3,6      | 0,23     | 0,505    | —        |
| 4Н — 4К             | Номинальный ток, мА   | 5,0    | 9,0    | 7,8    | 9,0      | 33,0     | 9,0      | 16,0     | —        | 9,35     | —        | 75,0     |
|                     | Длительный ток, мА    | 93,0   | 58,0   | 55,0   | 52,0     | 220,0    | 52,0     | 72,0     | —        | 48,0     | —        | 900,0    |
|                     | Сопротивление, Ом     | 150,0  | 113,0  | 108,0  | 184,0    | 11,5     | 184,0    | 99,5     | —        | 260,0    | —        | 1,68     |
| 5Н — 5К             | Постоянная времени, с | 0,179  | 0,138  | 0,216  | 0,256    | 0,303    | 0,256    | 0,358    | —        | 0,282    | —        | 0,675    |
| 5Н — 5К             | Номинальный ток, мА   | 5,0    | 9,0    | 7,8    | 9,0      | 33,0     | 9,0      | 16,0     | —        | 9,35     | —        | 75,0     |
|                     | Длительный ток, мА    | 93,0   | 58,0   | 55,0   | 52,0     | 220,0    | 52,0     | 72,0     | —        | 48,0     | —        | 900,0    |
|                     | Сопротивление, Ом     | 150,0  | 113,0  | 108,0  | 184,0    | 11,5     | 184,0    | 99,5     | —        | 260,0    | —        | 1,68     |
| 6Н — 6К             | Постоянная времени, с | 0,179  | 0,138  | 0,216  | 0,256    | 0,303    | 0,256    | 0,358    | —        | 0,282    | —        | 0,675    |
| 6Н — 6К             | Номинальный ток, мА   | 5,0    | 9,0    | 7,8    | 9,0      | 9,9      | 9,0      | 16,0     | —        | 8,0      | 14,0     | 35,0     |
|                     | Длительный ток, мА    | 63,0   | 100,0  | 90,0   | 100,0    | 120,0    | 100,0    | 160,0    | —        | 48,0     | 270,0    | 425,0    |
|                     | Сопротивление, Ом     | 156,0  | 73,0   | 125,0  | 100,0    | 75,0     | 100,0    | 45,5     | —        | 330,0    | 29,0     | 7,2      |
| 7Н — 7К             | Постоянная времени, с | 0,171  | 0,216  | 0,294  | 0,47     | 0,52     | 0,47     | 0,545    | —        | 0,3      | 1,13     | 0,715    |
| 7Н — 7К             | Номинальный ток, мА   | 5,0    | 9,0    | 7,8    | 9,0      | 9,9      | 9,0      | 16,0     | —        | 8,0      | 14,0     | 35,0     |
|                     | Длительный ток, мА    | 63,0   | 100,0  | 90,0   | 100,0    | 120,0    | 100,0    | 160,0    | —        | 48,0     | 270,0    | 425,0    |
|                     | Сопротивление, Ом     | 156,0  | 73,0   | 125,0  | 100,0    | 75,0     | 100,0    | 45,5     | —        | 330,0    | 29,0     | 7,2      |
| 7Н — 7К             | Постоянная времени, с | 0,171  | 0,216  | 0,294  | 0,47     | 0,52     | 0,47     | 0,545    | —        | 0,3      | 1,13     | 0,715    |

Примечание. Последняя цифра в условном обозначении для ТУМ-Б4 и ТУМ-Б5, принятая в этой таблице, указывает номер усиленного обмотки.

вольтметр с нулем посередине, наблюдают за отклонением стрелки вольтметра в момент подачи постоянного тока на вторую обмотку управления (рис. 5.21). Если маркировка обмотки правильная, полярность, показываемая вольтметром, будет совпадать с полярностью источника постоянного тока (батарей), подключенного ко второй обмотке управления. Проверив маркировку рабочих обмоток, соединяют их встречно и подсоединяют к зажимам вольтметра (рис. 5.22). В момент подачи постоянного тока в одну из обмоток управления (или отключения его) стрелка вольтметра не должна отклоняться;

4) проверяют соотношение числа витков обмоток определением коэффициента трансформации обмоток при использовании источника переменного тока по общепринятым методам;

5) снимают нагрузочные характеристики обмоток МУ по схемам, указанным на рис. 5.23. Эти характеристики снимают при номинальных значениях подводимых напряжений и заданных частоте переменного тока и силе тока смещения. Величину сопротивления нагрузки подбирают с учетом рабочих режимов МУ в той схеме, где он должен работать. Величину нагрузочного тока определяют, изменяя ток управления в пределах 0—150% заданного значения. На основании полученных данных строят нагрузочные характеристики. Амперметры  $A$  и добавочные сопротивления  $r_d$  выбирают соответственно типу МУ.

Иногда возникает необходимость в снятии характеристики намагничивания. Используя для этой цели рабочие обмотки (рис. 5.24) или обмотки управления, получают характеристики намагничивания, с помощью которых можно судить о качестве термообработки и шихтовке сердечника, а иногда выявлять и наличие к. з. витков. Если возникает подозрение на к. з. витки, можно провести дополнительные испытания, подавая напряжение в исправную обмотку в соответствии со схемой, показанной на рис. 5.24, и включить еще один вольтметр на обмотку, подозреваемую в наличии к. з. витков, а после окончания испытаний сравнить полученные кривые. Если имеются к. з. витки, форма кривых будет разной, особенно в средней части характеристики. Однако обнаружить это удастся при значительном количестве к. з. витков.

Объем испытаний силовых магнитных усилителей практически не отличается от МУ, применяемых в цепях управления. Иногда дополнительно измеряют постоянные времени рабочих обмоток и обмоток управления. Для этого лучше всего использовать осциллограф и источник постоянного тока, причем необходимо проследить, чтобы остальные обмотки были разомкнуты. Для того чтобы избежать перенапряжений в разомкнутых обмотках, целесообразно выбирать источник напряжения с пониженной в три или четыре раза величиной напряжения по отношению к рабочему напряжению.

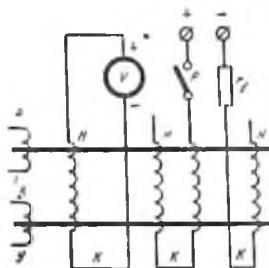


Рис. 5.21. Схема проверки полярности обмоток управления

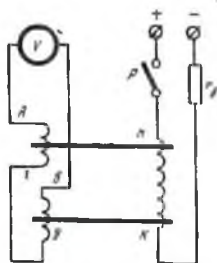


Рис. 5.22. Схема проверки маркировки концов рабочих обмоток

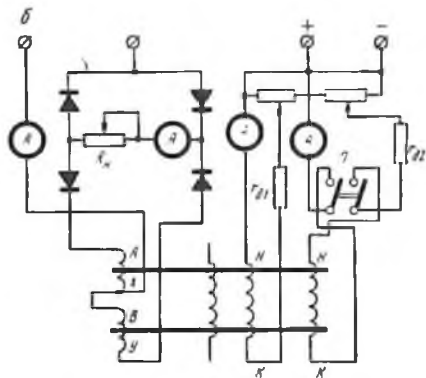
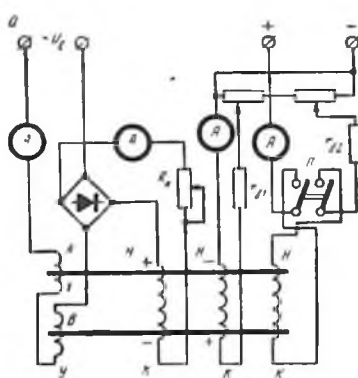


Рис. 5.23. Схема для снятия нагрузочных характеристик магнитных усилителей:

а — с внешней обратной связью; б — с внутренней обратной связью

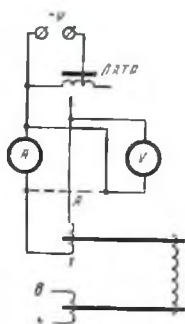


Рис. 5.24. Схема для снятия характеристик намагничивания

## § 5.6. СЕЛЬСИНЫ

Конструкция сельсинов, применяемых в современных схемах управления, различна. Наибольшее распространение нашли бесконтактные сельсины-датчики типа БД и приемники типа БС, кроме того, используют датчик угла поворота М21/2 и, наконец, совсем редко используют спловые сельсины.

Спловые сельсины по своей конструкции мало отличаются от трехфазных двигателей с фазным ротором, поэтому методика их наладки сходна с наладкой асинхронных двигателей и отдельно рассматриваться не будет. Основное внимание при наладке этих сельсинов следует обратить на определение ошибки в угле поворота сельсина-приемника. Учитывая большое распространение подобных конструкций, этот вопрос целесообразно рассмотреть подробнее.

Величина статического момента, развиваемого сельсином,

$$M_c = M_{\max} \sin \Theta \quad (5.7)$$

где  $M_{\max}$  — максимальный момент, зависящий от конструкции сельсина;  $\Theta$  — угол поворота.

Повороту сельсина-приемника противодействует сила трения, поэтому его поворот прекратится, когда наступит равенство

$$M_T = M_{\max} \sin \Theta_T \quad (5.8)$$

где  $\Theta_T$  — угол, характеризующий величину ошибки, полученную во время работы сельсинов.

Налаживая сельсины, следует убедиться, что их момент соответствует данным, указанным в каталогах (или табл. 5.8), а величина ошибки не выходит из нормы, предусмотренной для данного типа сельсинов (табл. 5.9).

Величину момента бесконтактных сельсинов определяют рычагом с гирями или пружинным динамометром. Одновременно целесообразно снять кривые токов в обмотках, так как по их величине можно рассчитать величину статического момента у сельсина-приемника и проверить статическую угловую погрешность. Кроме того, проверить форму кривой питающего напряжения необходимо еще из-за того, что искажение кривой напряжения вызывает значительное уменьшение статического момента. Учитывая это, следует воздержаться от применения стабилизаторов всевозможных типов в цепях питания сельсинов-приемников, так как любая нелинейность немного увеличит погрешность в угле поворота.

В схемах автоматического управления и сигнализации сельсины часто применяют вместе с зубчатой передачей, вследствие чего их максимальная ошибка значительно увеличивается. В схемах сигнализации это не играет существенной роли, но при передаче угла в цепях автоматического управления увеличенная ошибка может значительно повлиять на режим управления, а иногда сделать установку практически неработоспособной.

Основные технические данные бесконтактных сельсинов

| Сельсин            | Напряжение возбужде-<br>ния, В | Ток возбуждения, А | Мощность, Вт | Вторичное напряжение,<br>В | Максимальный статиче-<br>ский момент, гс·см | Удельный статический<br>момент, гс·см | Момент трения возбуж-<br>денной машины, гс·см | Момент трения невозбуж-<br>денной машины, гс·см |
|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------|----------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Сельсины-датчики   |                                |                    |              |                            |                                             |                                       |                                               |                                                 |
| БД-404             | 110                            | 0,45               | 15           | 36                         | —                                           | —                                     | 20                                            | 7,5                                             |
| БД-404А            |                                |                    | 14           | 49                         |                                             |                                       |                                               |                                                 |
| БД-501             | 110                            | 1,35               | 29           | 39                         | —                                           | —                                     | 50                                            | 15                                              |
| БД-501А            |                                |                    | 26           | 54                         |                                             |                                       |                                               |                                                 |
| Сельсины-приемники |                                |                    |              |                            |                                             |                                       |                                               |                                                 |
| БС-404             | 110                            | 0,45               | 15           | 36                         | 240                                         | 4                                     | 20                                            | 7,5                                             |
| БС-404А            |                                |                    | 14           | 49                         |                                             |                                       | 15                                            |                                                 |
| БС-405             | 127                            | 0,45               | 0,09         | 2                          | 420<br>800                                  | 9<br>18                               | 20                                            | 7,5                                             |
| БС-500             |                                |                    | 18           | 55                         |                                             |                                       | 15                                            | 6                                               |
| ДБС-500            |                                |                    |              |                            |                                             |                                       | 8                                             |                                                 |
| БС-501             | 110                            | 1,35               | 29           | 39                         | 1800                                        | 35                                    | 50                                            | 15                                              |
| БС-501А            |                                |                    | 26           | 54                         |                                             |                                       | 35                                            |                                                 |
| БС-509             | 110                            | 0,6                | 12,5         | 95                         | 950                                         | 20                                    |                                               | 15                                              |

Кроме передачи угла сельсинны часто используют для получения заданного напряжения, пропорционального заданной скорости. В этом случае имеется только один сельсин-трансформатор, выполняющий функции задающего аппарата. Его ротор получает заданный угол поворота от профиля или через зубчатую передачу от вала машины. У сельсинов-трансформаторов ошибка на выходе не зависит от угла торможения  $\Theta_T$ , но очень большое влияние на точность работы оказывают люфты, имеющиеся в зубчатых передачах.

Например, применяя аппараты СКАА для создания задающего напряжения, пропорционального заданной скорости, можно получить значительные ошибки в начале разгона и в конце замедления, когда заданное напряжение не превышает 10—15% наибольшего. В этом случае у плохо выполненных аппаратов СКАА фактическое напряжение может отличаться на 50—60% от заданного при одном и том же угле поворота рычага аппарата. Это происходит вследствие больших зазоров в зубчатой передаче аппарата СКАА. Поэтому, получая зависимость напряжения сельсина от

Т а б л и ц а 5.9  
Значение максимальной ошибки сельсинов

| Тип                                   | Класс точности | Ошибка, градус              |
|---------------------------------------|----------------|-----------------------------|
| БД-404                                | 1              | $0 \div (\pm 0,25)$         |
|                                       | 2              | $(\pm 0,25) \div (\pm 0,5)$ |
|                                       | 3              |                             |
| БД-501<br>БД-404А                     | 1              | $(\pm 0,5) \div (\pm 1,0)$  |
|                                       | 2              | $0 \div (\pm 0,35)$         |
|                                       | 3              | $(\pm 0,35) \div (\pm 0,5)$ |
| БД-501А                               | 1              | $(\pm 0,35) \div (\pm 1,0)$ |
|                                       | 2              |                             |
|                                       | 3              |                             |
| БС-404А                               | 1              | $0 \div (\pm 1,0)$          |
|                                       | 2              | $(\pm 1,0) \div (\pm 1,5)$  |
|                                       | 3              | $(\pm 1,5) \div (\pm 2,5)$  |
| БС-501А                               | 1              |                             |
|                                       | 2              | $0 \div (\pm 0,35)$         |
|                                       | 3              | $(\pm 0,35) \div (\pm 0,5)$ |
| БС-405                                | 1              | $(\pm 0,5) \div (\pm 0,75)$ |
|                                       | 2              |                             |
|                                       | 3              |                             |
| БС-500<br>ДБС-500<br>БС-509<br>БС-404 | 1              | $0 \div (\pm 0,75)$         |
|                                       | 2              |                             |
|                                       | 3              | $(\pm 0,75) \div (\pm 1,5)$ |
| БС-501                                | 1              | $(\pm 1,5) \div (\pm 2,5)$  |
|                                       | 2              |                             |
|                                       | 3              |                             |

угла поворота аппарата, необходимо обратить внимание на величину мертвой зоны, которую легче всего выявить при снятии петли гистерезиса. Для этого подключают входную обмотку к задающему стабилизированному напряжению, а к выходной обмотке подсоединяют вольтметр. Иногда, если предусмотренная в схеме нагрузка велика, имитируя ее, подсоединяют параллельно вольтметру резистор сопротивлением, равным сопротивлению нагрузки. Весь ход рычага аппарата разбивают на 12—15 равных частей. Во избежание ошибки обычный рычаг аппарата целесообразно заменить более длинным со стрелкой на конце. Рядом с рычагом на ось насаживают сектор из тонкого текстолита, радиус сектора обычно несколько больше длины рычага. Дугу сектора, равную углу поворота рычага, делят на равные отрезки. Такое приспособление может служить постоянно.

Поворачивая рычаг на одно деление дуги, отмечают напряжение вольтметра. Снятая показания вольтметра при движении рычага сначала в сторону увеличения угла до максимума, а затем при уменьшении его до нуля, получают данные, на основании которых строят кривые  $U_{из} = f(\alpha)$ , где  $\alpha$  — угол поворота рычага. После снятия полного цикла дополнительно при малых углах поворота рычага его покачивают взад и вперед в пределах 1—2 делений, следя за показаниями вольтметра. Это помогает получить более полное представление о величине мертвой зоны аппарата.

## НАЛАДКА СХЕМ ПУСКА ТУРБОМАШИН

## § 6.1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ И СВЕДЕНИЯ

К турбомашинам, применяемым в угольной промышленности, относятся вентиляторные, водоотливные и турбокомпрессорные установки. Для большинства установок вентиляторов и турбокомпрессоров в качестве электропривода используют синхронные двигатели и только для некоторых вентиляторных установок главного проветривания — асинхронные двигатели с фазным ротором. На строительстве шахт при прохождении стволов, в качестве электропривода главных вентиляторов очень часто используют асинхронные короткозамкнутые двигатели. Такие же двигатели применяют и на главных водоотливных установках. Схемы пуска короткозамкнутых асинхронных двигателей просты, и отдельно их не будем рассматривать. Соответствующие сведения о наладке отдельных узлов этих схем даны в других главах. Схемы пуска двигателей с фазным ротором рассмотрены для вентиляторных установок асинхронного машинно-вентильного каскада. Наибольшее внимание уделим схемам пуска синхронных двигателей; следует иметь в виду, что аналогичные схемы применяют для пуска двигателей поршневых компрессоров и двигателей преобразовательных агрегатов в схеме Г—Д для шахтного подъема. Поэтому, рассматривая схемы пуска синхронных двигателей, целесообразно иметь в виду и эти агрегаты.

Прежде чем перейти к описанию наладки схем пуска, следует остановиться на условиях разгона синхронных двигателей у различных типов машин. Это необходимо, во-первых, для выяснения величины максимально допустимых ускорений при пуске, а во-вторых, для определения допустимого количества пусков двигателя в течение 1 ч.

Двигатели преобразовательных установок в схемах Г—Д шахтного подъема запускаются, практически, вхолостую, так как двигатель во время запуска должен развернуть только генератор постоянного тока и иногда возбудитель, сидящий на одном валу с ппм. Время запуска такой установки исчисляется несколькими секундами, и ускорения, возникающие во время пуска, довольно значительны. Обычно заводы-изготовители, поставляющие подобные установки в сборе, не ограничивают время пуска и наладчик может его не проверять, даже если запуск происходит на шахтах, имеющих подстанции 110/6 кВ. Основное внимание на таких установках приходится уделять вводу двигателя в синхро-



допуская несколько пусков в течение 1 ч. Во время нормальной эксплуатации, а также при обкатке двигателей под нагрузкой последовательные пуски встречаются значительно реже. В турбокомпрессорных установках они могут быть вызваны условиями наладки регуляторов давления противоположных устройств, на вентилляторных установках — для определения времени, необходимого на реверсирование струи воздуха. Особенно часто возникает необходимость в проведении опыта реверсирования струи, так как это предписывается ПБ [15]. Во всех описанных случаях условия работы пусковой обмотки значительно хуже, так как повторный пуск происходит при нагретом двигателе, поэтому целесообразно стараться сократить время пуска двигателя до минимума.

Следует отметить, что наладчик располагает большими возможностями по регулированию величины нагрузки двигателя во время пуска почти любого механизма.

Статическая часть нагрузки при пуске любого турбомеханизма имеет несколько составляющих:

вредные сопротивления самого механизма из-за трения в отдельных узлах. В современных вентилляторах, оборудованных подшипниками качения, потери на трение невелики и обычно не превышают 5%. Турбокомпрессоры и их редукторы чаще всего имеют подшипники скольжения, поэтому у них потери на трение иногда достигают 10%;

вредные сопротивления из-за подсосов воздуха в машине. У центробежных вентилляторов они наблюдаются вследствие неплотностей направляющего аппарата и утечек воздуха через ляды. Эта часть нагрузки уже пропорциональна скорости машины, но не имеет явно выраженного характера гиперболы, а скорее приближается к постоянной величине на большем отрезке времени разгона. То же следует сказать и о потерях в турбокомпрессоре, вызванных утечками воздуха. Вредные сопротивления из-за утечек воздуха обычно находятся в пределах 10—15%.

Сопротивления из-за частичной нагрузки механизма на сеть (например, приоткрытый направляющий аппарат). Эта часть нагрузки часто бывает близка к гиперболе.

Таким образом, при большинстве пусков турбомеханизма общая постоянная нагрузка двигателя составляет 15—25% (без учета потерь в двигателе). Задача наладчика состоит в том, чтобы свести эту часть нагрузки к минимуму (если нет ограничений по величине ускорения) и тем самым сократить время пуска, уменьшив температуру нагрева пусковой обмотки.

Особенно большое внимание приходится уделять условиям пуска двигателя, проводя испытание главных вентилляторных установок по условиям реверсирования струи воздуха. По ПБ [15] время реверсирования струи воздуха не должно превышать 10 мин. На большинстве установок за этот отрезок времени необходимо остановить вентиллятор, произвести перестановку ляд

и снова его запустить. Если опыт проводить при плохо закрытом направляющем аппарате или совсем его не закрывать (иногда наблюдаются такие случаи), то пуск вентилятора затянется, вызывая перегрев пусковой обмотки. Особенно внимательным к условиям пуска приходится быть на шахтах, имеющих длинные линии 6 кВ. При пуске в них возникает значительная потеря напряжения, момент двигателя вентилятора уменьшается и пуск затягивается. После окончания опыта реверсирования вентилятор снова останавливают для перевода в нормальный режим работы и после перестановки ляд снова запускают. Таким образом, в течение часа может произойти два пуска двигателя из нагретого состояния, что, безусловно, приведет к перегреву пусковой обмотки. Для предотвращения подобных явлений после окончания реверса целесообразно пускать резервный вентилятор.

## § 6.2. НАЛАДКА СХЕМ С ЭЛЕКТРОМАШИНЫМ ВОЗБУДИТЕЛЕМ

Схемы с электромашинным возбудителем предусматривают присоединение возбудителя к индукторам наглухо, через разрядное сопротивление, и разгон двигателя с обмоткой возбуждения, замкнутой на разрядное сопротивление  $CP$  с последующим

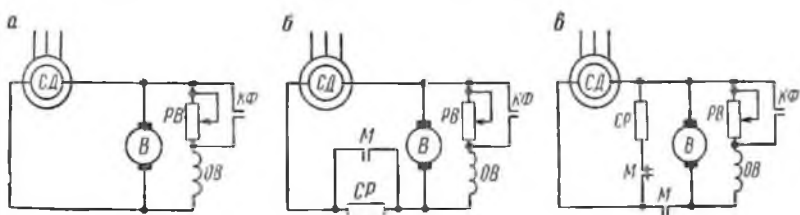


Рис. 6.2. Схемы возбуждения синхронных электродвигателей от электромашинного возбудителя:

$РВ$  — реостат возбуждения;  $КФ$  — контакт форсировки;  $ОВ$  — обмотка возбуждения возбудителя

подключением возбудителя  $В$  (рис. 6.2). Ни в коем случае нельзя оставлять обмотку ротора синхронного двигателя  $СД$  разомкнутой при пуске, так как в ней будет наведено значительное напряжение. Точно также нельзя предварительно подключать отдельно стоящий возбудитель, получивший до начала разгона полное напряжение. В этом случае большое напряжение появится и в статоре, и весь пуск может закончиться тяжелой аварией.

Схема, показанная на рис. 6.2, а, наиболее проста и удобна, однако она может применяться только на машинах небольшой мощности (до 1000 кВт), у которых момент сопротивления весьма невелик. Например, если применить такую схему для пуска синхронного двигателя компрессора 5Г-100, то уже при небольшой перетяжке коренных подшипников двигатель может не войти

в синхронизм. Это объясняется значительным снижением момента на подсинхронной скорости, кроме того, величина пускового момента во всем периоде разгона тоже будет снижена [2].

Характер уменьшения момента в зависимости от величины разрядного сопротивления показан на рис. 6.3. Исходя из приведенных данных следует признать, что глухо подключенный возбудитель, соединенный с валом привода, наиболее целесообразно использовать на небольших центробежных вентиляторах, пускаемых с закрытым направляющим аппаратом.

Схема, изображенная на рис. 6.2, б, получила в настоящее время наибольшее распространение. Она весьма проста в управ-

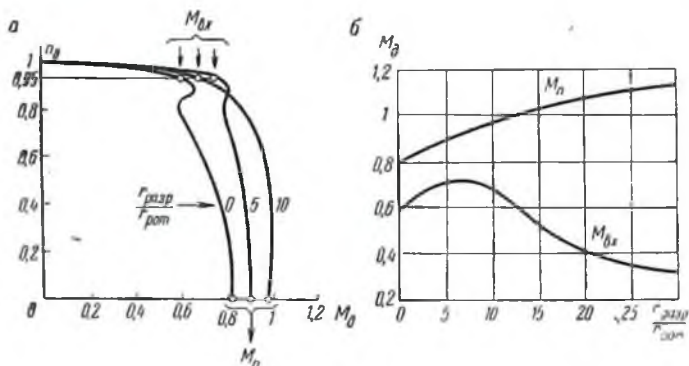


Рис. 6.3. Примерные характеристики  $n_d = f(M_d)$  (а) и  $M_d = f(r_{разр}/r_{рот})$  (б) электродвигателей при пуске с разной величиной разрядного сопротивления:  $r_{разр}$  — разрядное сопротивление;  $r_{рот}$  — сопротивление ротора;  $M_n$  — пусковой момент при  $r_{разр} = 0$ ;  $M_{вх}$  — входной пусковой момент

лении и наладке и одновременно обеспечивает хороший входной момент при правильно подобранном разрядном сопротивлении. Включение контактора  $M$  происходит в функции тока статора. Ток статора на подсинхронной скорости значительно уменьшает свою величину. Настроивая соответствующим образом реле тока, подбирают момент входа двигателя в синхронизм. Иногда снимают осциллограмму тока и скорости и выбирают уставку, исходя из полученных данных о величине тока на подсинхронной скорости.

Настройку реле форсировки выполняют на основании данных о возможной величине снижения напряжения в высоковольтной сети и ожидаемом уменьшении момента двигателя. Расчет ведут с учетом наибольшего возможного момента сопротивления. Очевидно, что для двигателей компрессоров и вентиляторов форсировка используется небольшой величины, и только в шахтном подъеме, где возможны значительные перегрузки двигателя во время разгона подъемной машины, приходится настраивать форсировку на максимум возможной величины.

Наладка промежуточных реле и реле напряжения была описана ранее, а наладка реле тока и реле времени подробно будет рассмотрена в главах, посвященных шахтному подъему, так как там они применяются наиболее часто и в большом количестве.

Схема на рис. 6.2, в теперь применяется довольно редко. Она сложнее предыдущей и не дает заметных преимуществ по сравнению с ней. Чаще всего употребляется при отдельно стоящих возбудителях. В старых модификациях этой схемы исполнительным было реле частоты, так как считалось, что оно лучше обеспечит снижение толчков тока в момент включения контактора М. Последующие дополнительные исследования и рост мощности питающей сети показали, что применение реле тока дает очень хорошие результаты. Вместе с тем наладка и эксплуатация реле частоты создают больше трудностей.

Дополнительно при наладке любой из схем возбуждения синхронных двигателей необходимо:

- провести испытания аппаратуры в пределах требований ПУЭ;
- проверить и испытать реостаты возбуждения. Величину сопротивления реостатов проверяют для каждой ступени отдельно;

- измерить сопротивление постоянному току гасительных сопротивлений, их величина по отношению к сопротивлению полюсов обычно находится в пределах 5—10 (см. рис. 6.3, а);

- проверить и наладить автомат гашения поля (если он предусмотрен в схеме). В процессе проверки выясняют соответствие автомата току ротора, наличие и регулировку сопротивления, включенного параллельно дугогасительной камере, очередность срабатывания главных и дугогасительных контактов; измеряют переходное сопротивление контактов двойным мостом постоянного тока;

- опробовать и испытать систему возбуждения при неподвижном и вращающемся синхронном двигателе;

- проверить фазировку двигателя с сетью, обеспечив необходимое направление вращения машины (генератора в схеме Г—Д);

- испытать систему форсировки, создав искусственное падение напряжения;

- следить за температурой обмотки при наладке и испытании синхронного двигателя.

### § 6.3. НАЛАДКА СХЕМ С ТИРИСТОРАМИ ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В настоящее время выпущено уже много установок с тиристорным возбуждением синхронных двигателей. Следует признать, что схема возбуждения с тиристорами намного сложнее электромашиной, и в процессе наладки, а также первоначальной эксплуатации наблюдаются отказы в работе из-за выхода из строя транзисторов и резисторов. Трудоемкость наладки подобных схем с тиристорами, а как следствие, и стоимость наладки подобных схем

тоже намного выше. Все это следует отнести к недостаткам, но безусловным достоинством является отсутствие вращающихся частей. Можно надеяться, что первые годы эксплуатации помогут выявить слабые места и значительно упростить сами схемы и сделать их более надежными.

Тиристорные возбуждающие устройства (ТВУ) выпускаются для токов возбуждения в 320 А при напряжении от 46 до 250 В. Схемы управления для всего ряда ТВУ практически неизменны,

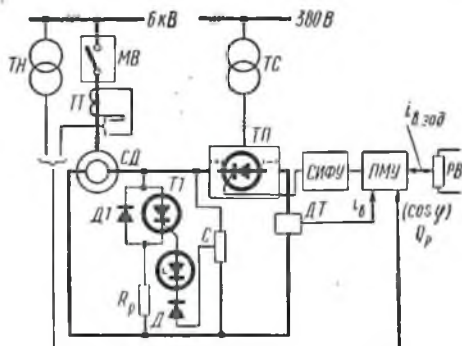


Рис. 6.4. Принципиальная схема ТВУ;

Структурная схема устройства тиристорного возбуждения синхронного двигателя; СД — синхронный двигатель; ТП — тиристорный преобразователь; ТС — согласующий трансформатор; СИФУ — система импульсного фазового управления тиристорным преобразователем; РВ — регулятор тока возбуждения (ручной); ПМУ — промежуточный магнитный усилитель; ДТ — датчик тока возбуждения; С — стабилитрон; R<sub>p</sub> — разрядное сопротивление; Т<sub>1</sub> — вспомогательный тиристор; Д1, Д — диоды; МВ — масляный выключатель; ТТ — трансформатор тока; ТН — трансформатор напряжения

некоторое изменение получает только силовая часть. Любая из них обеспечивает:

- автоматическое и ручное управление для изменения силы тока возбуждения синхронного двигателя;
- необходимую форсировку при снижении напряжения сети;
- защиту от токов к. з.;
- защиту ротора двигателя от длительной перегрузки по току;
- разгон двигателя на разрядном сопротивлении, автоматическое отключение его на подсинхронной скорости и автоматическое включение постоянного тока;
- контроль за работой масляного выключателя;
- сигнализацию о действии защит (на рис. 6.4);
- контроль за наличием импульсов для управления тиристорным преобразователем;
- контроль за наличием напряжения в цепях управления;
- контроль за силой тока в статоре и роторе;
- режим инвертирования при нормальных и аварийных отключениях синхронного двигателя;
- защиту от затянувшегося пуска двигателя.

Схема ТВУ в процессе ее совершенствования уже получила некоторые изменения, очевидно, этот процесс будет продолжаться и далее, поэтому приводить ее подробное описание не имеет смысла, а гораздо целесообразнее дать общую методику наладки. Как следует из принципиальной схемы, силовая часть преобразователя состоит из трансформатора (рис. 6.4), вторичная обмотка которого обеспечивает требуемый уровень напряжения для ротора синхронного двигателя. Тристорный преобразователь собран по трехфазной схеме с нулевым проводом, каждая фаза имеет делитель тока, обеспечивающий деление тока между тиристорами в пределах 10%. Для снижения величины коммутационных перенапряжений каждый тиристор зашунтирован  $RC$  цепочкой.

Разрядное сопротивление  $R_p$  (рис. 6.4) управляется с помощью диодов  $D1, D$  и цепочки стабилитронов  $C$ . Защита от застрявшего пуска, неисправностей в цепи ротора и разрядного сопротивления выполняется трансформатором МУ и соответствующими датчиками. При возникновении неисправности от датчика через обмотки трансформатора МУ поступает сигнал в блок питания Г и далее в блок управления А. В результате выпадает сигнальный блпнкер и одновременно замыкается цепь отключающей катушки масляного выключателя, вызывая его отключение.

Импульсы для управления тиристорами поступают от блока В к размножающим трансформаторам и далее непосредственно к тиристорам.

Ручное управление тиристорами выполняется с помощью специального сопротивления. Сигналы от него поступают непосредственно в блок Б.

Для управления тиристорами в ручном, автоматическом и аварийном режимах предназначены блоки А, Б, В, Г. В аварийном режиме используются только блоки В и Г. Это дает возможность осуществлять ремонт при неисправностях, возникших в блоках А и Б, что наблюдается довольно часто, особенно в первый период эксплуатации.

Внутренние схемы соединений блоков на рис. 6.4 не показаны, так как это слишком усложнило бы чертеж. Для наладки каждого блока необходимо иметь не только его описание, но и карту напряжений в контрольных точках. Такие карты приводятся заводом в инструкции, прилагаемой к каждому шкафу ТВУ. Дадим только описание последовательности наладочных работ, отсутствующих в инструкции завода.

Приступая к наладке необходимо убедиться, что устройство прошло расконсервацию и подготовлено к подаче напряжения. Трансформаторы проверяют в объеме требований ПУЭ, тиристоры — по прямому и обратному току; кроме того, измеряют потенциал зажигания для токов нагрузки 50, 75 и 100% номинального. Проверяют исправность цепочки  $RC$ , измеряя величину сопротивления и емкости. Они должны соответствовать паспортным данным.

Измеряют величину разрядного сопротивления и вычисляют отношение  $R_1/R_c$ , где  $R_c$  — сопротивление обмотки возбуждения синхронного двигателя. В зависимости от назначения двигателя отношение  $R_1/R_c$  должно быть:

для двигателей преобразовательных агрегатов системы Г—Д шахтного подъема — в пределах 3—6;

для двигателей турбокомпрессоров — то же, хотя иногда его увеличивают до 8-кратной величины;

для двигателей вентиляторов — в пределах 5—10. Нижний предел выбирают для центробежных вентиляторов, пускаемых с закрытым направляющим аппаратом, при условии, что мощность сети достаточно велика и напряжение на зажимах двигателя во время пуска равно или больше 90% номинального. Верхний предел чаще принимают для осевых вентиляторов и при пуске центробежных вентиляторов, получающих энергию от сети большой протяженности, когда потеря напряжения в ней достигает максимально допустимой величины, или при пуске центробежных вентиляторов с открытым направляющим аппаратом.

В цепи управления разрядным сопротивлением проверяют исправность диодов и стабилитронов и измеряют уровень напряжения, при котором срабатывают стабилитроны. Он должен обеспечить надежное втягивание двигателя в синхронизм с учетом величины пульсаций выпрямленного напряжения.

Проверку блоков целесообразно предварительно вести в лабораторных условиях, используя для этой цели электронный осциллограф, а для блока питания Г — высокоомный вольтметр.

Фазоимпульсный блок В служит для формирования и синхронизации импульсов, подаваемых на тиристоры. С помощью осциллографа на входе и выходе проверяют величину и форму импульсов. Если они сходятся с данными, указанными в инструкции, то на этом проверку прекращают; при наличии расхождения по контрольным точкам выясняют величину отклонения на промежуточных транзисторах и устраняют место повреждения. Положение импульсов во времени определяет угол зажигания, поэтому очень важно проверить взаимное расположение импульсов и их сдвиг относительно начала времени отсчета. За начальную точку обычно принимают момент прохождения синусоиды напряжения сети через нуль. Необходимо помнить, что неправильное чередование фаз или смещение момента зажигания на  $180^\circ$  в лучшем случае приведут к отказу в работе, а в худшем — могут вызвать к. з. Выходные импульсы подаются с блока на размножительные трансформаторы.

В блоке Б сосредоточено управление работой тиристоров в режиме ручного регулирования, защита устройства от внутренних и внешних к. з. и регулирование силы тока возбуждения в функции внешних параметров цепи статора синхронного двигателя. В этом блоке также можно ограничиться проверкой входных и выходных параметров каждой платы, но гораздо целе-

сообразнее, руководствуясь данными инструкции, проверить величину и форму напряжения во всех контрольных точках, указанных на картах напряжения. Окончательно работа блока выясняется во время работы синхронного двигателя, когда имеется возможность изменять в значительных пределах ток статора. Однако предварительную проверку целесообразно выполнить

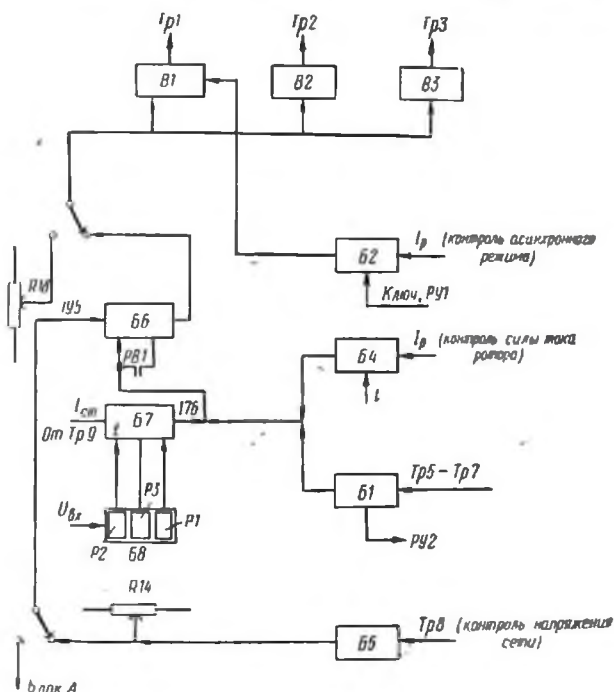


Рис. 6.5. Структурная схема блоков Г и В, используемых в ТВУ

при неподвижном двигателе, регулируя вручную силу тока возбуждения.

Настройка блока регулирования А, предназначенного для автоматического поддержания заданных параметров, также осуществляется предварительно осциллографом, когда проверяют величину и форму напряжения во всех контрольных точках, и окончательно после установки на место в шкафу ТВУ перед пуском синхронного двигателя и во время его нормальной работы.

Из сделанных выше пояснений по работе ТВУ ясно, что основные задачи управления и защиты решаются с помощью блока Б. Для лучшего выяснения его функций целесообразно воспользоваться структурной схемой, составленной инженером-наладчиком Е. Г. Губичем (рис. 6.5): ее следует рассматривать совместно

с принципиальной схемой, изображенной на рис. 6.4. Блок *Б* имеет 8 плат, причем платы *Б1—Б5* предназначены для решения задач защиты и контроля за работой ТВУ, а в платах *Б6—Б8* сосредоточено управление (плата *Б3*, осуществляющая задачи контроля, на схеме не показана).

В блоке *Б1* сосредоточена защита от к. з.. Ток к. з. вызывает повышенное падение напряжения на шунтах, через трансформаторы *Тр5—Тр7* оно поступает в блок *Б1*. Выходной сигнал с блока, попадая в блок *Б6*, дает импульс на прекращение зажигания тиристоров, одновременно в блоке *Б1* срабатывает сигнальное реле *РУ2*, вызывая отпадение блинкера и отключение масляного выключателя синхронного двигателя. Задача наладки этого блока сводится к проверке величины напряжения, снимаемого с шунтов при разной величине тока в силовой цепи выпрямителей и величины импульса, поступающего от трансформаторов *Тр5—Тр7* на вход блока *Б1*. Выбирая силу тока, при которой должен отключиться тиристор, и зная, какой сигнал поступит в этом случае на вход блока *Б1*, регулируют величину сигнала на выходе блока *Б1*, убеждаясь, что она гарантирует надежное отключение силовых выпрямителей.

Блок *Б2* предназначен для отключения разрядного сопротивления  $R_p$  и контроля за синхронным режимом двигателя. Отключение разрядного сопротивления  $R_p$  производится тиристорными ключами, срабатывающими при провалах в выпрямленном напряжении. Шунтируются они стабилитронами *С* с их помощью выбирается уровень напряжения, при котором включается и отключается разрядное сопротивление. Следует отметить, что на этот узел необходимо обращать особое внимание, так как завод неудачно выбирает стабилитроны, из-за чего часто происходит ложные срабатывания. Поэтому во время наладки приходится учитывать величину номинального напряжения ротора синхронного двигателя и условия его пуска. Контроль за работой разрядного сопротивления осуществляется датчиком-трансформатором. Сигнал от датчика поступает на вход блока *Б2*. В задачи наладки входят проверка величины амплитуды и частоты сигнала в момент окончания пуска синхронного двигателя и настройка в соответствии с этим мультивибратора для создания провалов в выпрямленном напряжении, обеспечивающих отключение ключа *Б2* (или *Б3*) для отключения разрядного сопротивления. Время провала в выпрямленном напряжении будет зависеть от параметров выходного сигнала с блока *Б2*, поступающего непосредственно в фазоимпульсный блок *Б1*. Кроме того, с помощью потенциометра, имеющегося в блоке *Б2*, регулируют время заряда конденсатора, подающего импульс на срабатывание сигнального реле, предназначенного для отключения масляного выключателя. Реле срабатывает при полном заряде конденсатора. Изменяя время заряда, можно изменить время пуска, а значит и время работы двигателя в асинхронном режиме. По данным за-

вода время заряда изменяется в пределах от  $2 \pm 0,5$  с до  $42 \pm 3$  с.

Блок *Б4* предназначен для контроля за величиной силы тока ротора синхронного двигателя, а значит и величиной перегрузки двигателя. В качестве датчика используется обмотка магнитного усилителя, включенная последовательно в цепь тока ротора (см. рис. 6.4). Сигнал с магнитного усилителя поступает на вход блока *Б4*. Регулируя величину сигнала, ограничивают силу тока в роторе синхронного двигателя, а регулируя время заряда конденсаторов, ограничивают длительность перегрузки, после чего выходной сигнал, поступающий на вход *Б6*, приводит к уменьшению силы тока ротора. Во время снижения напряжения сети, когда возникает необходимость в форсировке, эта защита отключается и на все время форсировки контроль за величиной перегрузки тока ротора отсутствует.

Блок *Б5* предназначен для контроля напряжения сети и создания форсировки, обеспечивающей работу синхронного двигателя при понижении напряжения на 15—20%. Выходной сигнал с этого блока поступает непосредственно к блоку *Б6* для изменения момента зажигания тиристоров так, чтобы увеличением силы тока ротора синхронного двигателя предотвратить его выпадение из синхронизма. Изменение угла зажигания регулируется каждый раз с учетом номинальных параметров ротора.

Рассмотрение работы блоков управления целесообразно начать с блока *Б8*, предназначенного только для подачи сигналов на включение и отключение силовых тиристоров. Эти задачи выполняются с помощью специального реле. После подачи напряжения на вход блока срабатывает реле *Р2* и его контакт в цепях блока *Б7* подает сигнал на начало работы блока.

Блок *Б7* обеспечивает пуск синхронного двигателя в функции времени и тока, причем реле времени, начинающее отсчет после замыкания контакта реле *Р2*, должно сработать раньше реле тока. Выдержка времени регулируется специальным потенциометром, имеющимся в блоке *Б7*. Его уставка определяет время и величину заряда конденсатора *С22* (на схеме не показана) и тем самым время разгона двигателя. Контроль по току осуществляется сигналом, поступающим от трансформатора тока через разделительный трансформатор. В задачу наладчика входит: определение величины сигнала на входе трансформатора (она зависит от выбора трансформатора тока и силы тока в статоре двигателя во время разгона. Иногда при неправильном выборе трансформатора тока, установленного в цепи статора, его приходится заменять); определение величины сигнала на выходе этого трансформатора. Следует иметь в виду, что величина сигнала на выходе может быть частично изменена вследствие изменения величины сопротивления, шунтирующего вторичную обмотку трансформатора тока; регулирование уставки потенциометра в блоке *Б7* с учетом величины выходного сигнала от

трансформатора при уменьшении тока статора в момент окончания разгона синхронного двигателя. Потенциометр регулируется, чтобы после окончания разгона напряжение, поступающее на реле *P4*, обеспечило его отключение и тем самым был бы подан сигнал в блок *B6*.

Блок *B6* предназначен для суммирования всех сигналов, поступающих от блока управления, блоков защиты и сигнала от потенциометра ручного управления *R14* (или блока регулирования *A*). Суммирование этих сигналов определяет момент подачи разрешения на включение силовых тиристоров и определяют угол их зажигания, обеспечивающий надлежащую величину выпрямленного напряжения, а значит и силу тока в цепи ротора синхронного двигателя. Величина входного и выходного сигнала блока *B6* должна сравниваться с картой напряжений, приложенной к заводской инструкции, а время сдвига сигнала определяет величину выпрямленного напряжения. Эти вопросы уже рассматривались ранее.

После установления величины выходного импульса и угла его сдвига электронным осциллографом проверяют, как меняется угол зажигания при подаче сигналов от отдельных плат блока *B*, затем собирают схему и проверяют ТВУ при неподвижном синхронном двигателе, выясняя силу тока в роторе двигателя при:

изменении уставки потенциометра *R14*;

уменьшении напряжения сети;

искусственном увеличении силы тока в роторе до недопустимых пределов (ротор шунтируют сопротивлением малой величины).

Если все защиты работают исправно, то проводят первый пробный пуск синхронного двигателя и опять проверяют все виды защит.

#### § 6 4. НАЛАДКА СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ (ОСНОВНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ)

*Синхронно-асинхронный привод* получил сравнительно небольшое распространение. Он применяется для пуска вентиляторов, имеющих большие маховые массы (например, вентиляторов ВРЦД-4,5), так как в настоящее время отсутствуют синхронные двигатели, у которых пусковые обмотки могут обеспечить надежный пуск таких вентиляторов даже при увеличении основных размеров двигателя.

Для уменьшения потерь в пусковой обмотке синхронного двигателя было предложено устанавливать на одном валу с синхронным двигателем дополнительный асинхронный двигатель небольшой мощности (мощность асинхронного двигателя составляет примерно 15% мощности синхронного двигателя) и с вдвое меньшим числом оборотов. В этом случае синхронный двигатель включается, когда вентилятор достигнет 50% заданной скорости, одновременно происходит отключение от сети асинхронного

двигателя. При пуске по такой схеме потери в пусковой обмотке синхронного двигателя снижаются в четыре раза, что дает возможность обеспечить нормальный ввод в синхронизм.

Несомненным преимуществом подобных схем является возможность использования постоянных вентиляторов для нужд строительства шахты, когда расход воздуха требуется значительно меньший (по сравнению с эксплуатационными условиями нормально работающей шахты), а сопротивление вентиляционной сети еще не получило значений, предусмотренных проектом. В этих случаях работу вентилятора вполне обеспечивает только разгонный двигатель.

Но вместе с тем такие схемы имеют и недостатки: значительно увеличивается высоковольтное распределительное устройство, особенно в случае применения реакторного пуска синхронного двигателя, становятся сложными схемы сигнализации и контроля температуры, т. е. намного увеличивается требуемое количество приборов КИП. Все это вместе взятое снижает надежность схемы управления и усложняет наладочные работы.

В процессе наладочных работ обязательно приходится проверять расчет пусковых сопротивлений асинхронного двигателя как по разбивке пусковых ступеней, так и по нагреву. Это объясняется тем, что проектные организации не всегда точно учитывают время разгона синхронного двигателя, зависящего от сопротивления сети (величина утечек воздуха при пуске весьма различна, кроме того, иногда возникает необходимость пуска вентилятора с неполностью закрытым направляющим аппаратом) и напряжения на зажимах двигателя в период пуска.

Методика расчета пусковых сопротивлений будет приведена в разделе подъемных машин, здесь целесообразно отметить, что окончательный выбор ПВ обычно проводят после пробных пусков вентилятора, когда можно установить фактическую величину напряжения во время пуска, выяснить режим работы вентилятора и степень прикрытия направляющего аппарата, проверить фактическое время разгона и установить необходимое (по условиям работы) количество пусков вентилятора в течение 1 ч. Зная фактическое ПВ, фактическую величину пускового тока и выбранные номера ящиков пускового сопротивления, принимают решение или об оставлении этих ящиков, или частичной их замене, если в проекте была допущена ошибка.

Контролируя режим работы синхронного двигателя, измеряют температуру пусковой обмотки непосредственно после окончания пуска для одно- и двукратного пусков двигателя в течение часа при холодном и нагретом состоянии. Располагая этими данными, устанавливают окончательный режим пусков двигателя в период нормальной эксплуатации как для условий работы его во время строительства шахты, так и после сдачи вентилятора в постоянную эксплуатацию.

Выше уже отмечалось, что номинальное число оборотов асинхронного двигателя должно быть вдвое меньше, чем у синхронного, но так как после отключения асинхронного двигателя его ротор продолжает вращаться, получая удвоенное число оборотов (по сравнению с номинальным), то в первый период пробной эксплуатации необходимо установить повышенный контроль за температурой подшипников двигателя и креплением обмотки ротора (особенно за клиньями в пазах и бандажам). По условиям поставки асинхронный двигатель должен рассчитываться на повышенное число оборотов, но опыт эксплуатации и наладки показывает, что такой контроль необходим.

Во время монтажа двигателей повышенный контроль необходимо установить за качеством прицентровывания двигателей друг к другу и к вентилятору, так как общая длина линии вала получается довольно значительной, а большой прогиб вала вентилятора требует установки двигателей паклонно, чтобы отсутствовали изломы в общей линии вала, т. е. линия вала двигателя должна служить продолжением линии вала вентилятора. Если оба двигателя расположены с одной стороны от вентилятора, то, устанавливая подшипники вентилятора на разных отметках (подшипник со стороны двигателей устанавливается несколько ниже), можно уменьшить наклон линии вала двигателей относительно горизонтальной плоскости и улучшить условия их работы. Это особенно важно для асинхронного двигателя, так как во время работы двигатель отключается и магнитное поле статора больше не удерживает ротор. Под влиянием своего веса ротор стремится перемещаться по наклонной плоскости до тех пор, пока его галтель не упрется во вкладыш подшипника (если сила трения меньше горизонтальной составляющей от веса ротора). Для ликвидации этого явления иногда создают искусственный перекося валов, устанавливая ротор асинхронного двигателя почти горизонтально. Значительно труднее решить подобную задачу в тех случаях, когда двигатели устанавливаются с разных сторон, так как подшипники вентилятора теперь необходимо ставить на одинаковых отметках, обеспечивая одинаковый наклон вала вентилятора па обоих его концах и создавая небольшой перекося валов двигателей относительно вала вентилятора для улучшения условий работы вала двигателя. Однако величина перекося не должна превышать 0,5 мм/м, при большем перекосе может возникнуть вибрация подшипников и повысится температура их нагрева во время работы.

Выполняя работы по центровке, необходимо помнить, что торцовое и радиальное биеение полумуфт, возникающее из-за неправильной расточки отверстий в полумуфтах, тоже может вызвать вибрацию подшипников; поэтому полумуфты располагают относительно друг друга так, чтобы торцовое и радиальное биеение каждой полумуфты по возможности компенсировало друг друга. Более полно этот вопрос рассмотрен в работах [29, 30].

Асинхронные двигатели с фазным ротором иногда имеют нескомпенсированные составляющие однофазного магнитного потока, вызывающие паразитные токи в подшипниках, поэтому в установках с синхронно-асинхронным приводом необходимо контролировать изоляцию подшипников, не допуская короткозамкнутых витков. Методы проверки изоляции подшипников во время работы двигателей были изложены ранее.

Особое внимание при наладке защиты фидеров синхронных двигателей следует уделить условиям пуска этих двигателей. Надо помнить, что синхронный двигатель включается в сеть, когда его скорость равна или близка к 50% номинальной, вследствие чего пусковой ток двигателя будет несколько отличаться от обычных условий пуска при неподвижном двигателе. Для уточнения величины уставки максимальной защиты лучше всего несколько раз просциллографировать пусковой ток двигателя, но, проводя этот опыт, необходимо всегда помнить о перегрузочной способности пусковой обмотки, избегая ее перегрева. Для получения более полной картины и лучшего выяснения условий пуска целесообразно один раз снять осциллограмму тока статора синхронного двигателя при пуске его от неподвижного состояния, но для предотвращения перегрева пусковой обмотки не доводить пуск до конца, а прекращать его через 5—10 с после включения. Полученная осциллограмма будет достаточно хорошо характеризовать максимальную величину пускового тока. Выбор уставок защиты производят на основании полученных осциллограмм, руководствуясь при этом общепринятыми требованиями к выбору величины уставки максимальной защиты и защиты от перегруза.

Большинство вентиляторов в настоящее время не имеет принудительной централизованной маслосмазки, однако такие вентиляторы, как ВРЦД-4,5 и ВЦД-40, все еще снабжаются центральной системой маслосмазки с двумя маслостанциями; их наладку, а также наладку схем управления пуском и работой двигателей маслосасосов выполняют по общепринятым правилам.

Асинхронный вентиляльно-машинный каскад получил распространение в качестве привода мощных вентиляторов. С одним асинхронным двигателем такой каскад применяется для вентиляторов ВЦД-32 и с двумя асинхронными двигателями для вентиляторов ВЦД-40. Принцип работы такого каскада заключается в том, что в цепь выпрямленного тока ротора асинхронного двигателя вводится добавочная э. д. с., уравнивающая выпрямленное напряжение ротора. Точнее, разность между выпрямленным напряжением ротора и противо э. д. с. обеспечивает поддержание в цепи ротора тока, величина которого определяется нагрузкой на валу вентилятора. В этом случае асинхронный двигатель получает устойчивую скорость вращения. Изменяя величину противо э. д. с., вызывают тем самым изменение напряжения ротора (так как разность между напряжением ротора

и противно э. д. с. должна оставаться постоянной), а значит и скорость вращения двигателя.

На рис. 6.6 приведена принципиальная схема управления асинхронными двигателями вентилятора ВЦД-40. Каждый двигатель имеет отдельное пусковое роторное сопротивление. Роторный ток выпрямляется по двухполупериодной мостовой схеме силовыми кремневыми выпрямителями. Выпрямленное напряжение обоих двигателей суммируется и включается на якорь двигателей постоянного тока. Для улучшения условий управления предусмотрено два двигателя постоянного тока, якоря которых могут включаться параллельно или последовательно. Последовательное включение двигателей постоянного тока предусматривается для случаев, когда необходимо глубокое регулирование скорости (число оборотов асинхронных двигателей близко к 50% номинальной скорости). Так как нагрузка вентилятора при малой скорости невелика (при скорости, близкой к 50% номинальной, нагрузка не превышает 30% максимальной проектной величины), ток ротора асинхронного двигателя не превышает половины номинальной величины (с учетом реактивной составляющей он примерно равен 40% номинального тока) и двигатели постоянного тока могут быть включены последовательно, причем напряжение их компенсирует последовательно включенное напряжение двух роторов асинхронных двигателей.

С повышением скорости вращения асинхронных двигателей нагрузка на валу вентилятора возрастает, а напряжение роторов, наоборот, уменьшается, и примерно при 75% номинальной скорости возникает необходимость в переключении двигателей постоянного тока с последовательной работой на параллельную. Из приведенного описания условий работы следует, что мощность двух двигателей постоянного тока не превышает 25—30% суммарной мощности асинхронных двигателей. Двигатели постоянного тока находятся на одном валу с синхронным двигателем. Во время пуска синхронный двигатель запускается по обычной схеме и работает в режиме двигателя до тех пор, пока выпрямленный ток роторов асинхронных двигателей не будет подключен к якорям двигателей постоянного тока. После замыкания цепи постоянного тока выпрямленное напряжение роторов, подведенное к якорям, заставляет вращаться их с несколько повышенной скоростью, благодаря чему синхронный двигатель переводится в режим генератора, отдавая мощность скольжения асинхронных двигателей обратно в сеть переменного тока. Изменяя напряжение двигателей постоянного тока регулированием величины тока возбуждения, можно получить любую устойчивую скорость асинхронного двигателя в пределах 50—100% номинальной скорости асинхронного двигателя.

Регулирование тока возбуждения осуществляется силовыми магнитными усилителями (рис. 6.7). Изменяя ток в задающих обмотках силовых магнитных усилителей (на рисунке обмотки

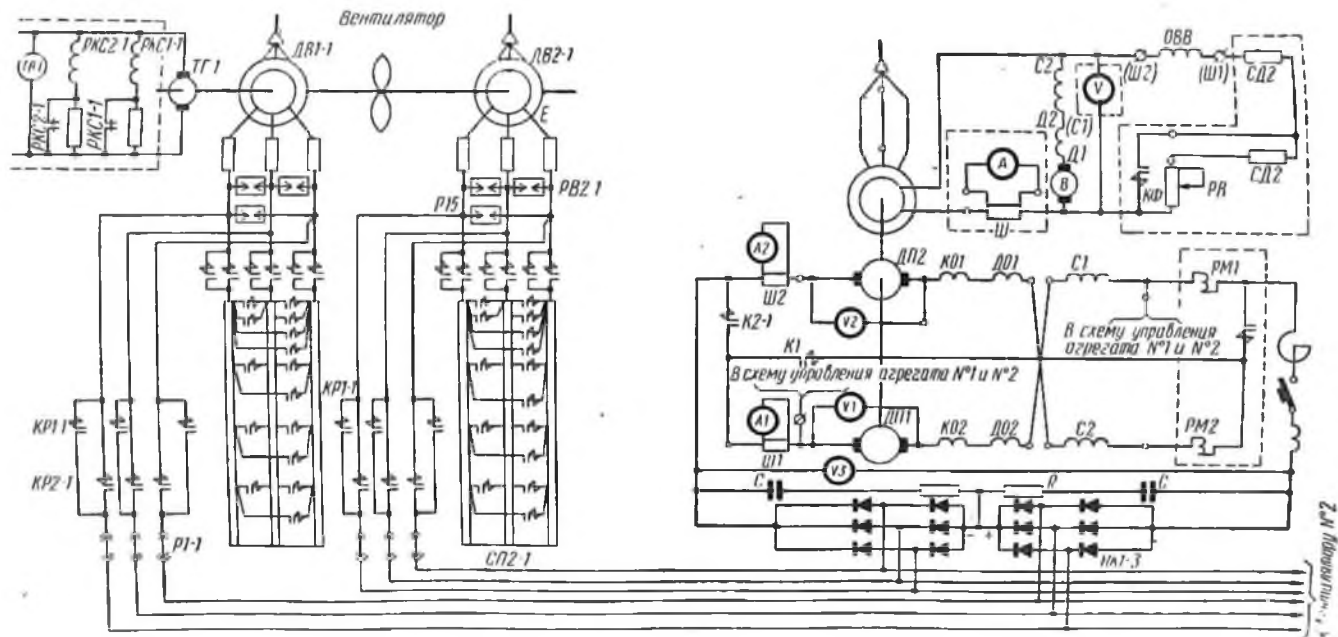


Рис. 6.6. Принципиальная схема асинхронного пентильно-машинного каскада для одного вентилятора ВПД-40

управления не показаны), плавно регулируют напряжение на выходе усилителей, а значит и ток в обмотке возбуждения двигателей. В схеме предусмотрены тахогенераторы на валу вентиляторов; вводя обратную связь по скорости, можно создать схему автоматического регулирования в функции скорости вентилятора содержания метана в исходящей струе (импульс от соответствующего датчика должен поступать в задающую обмотку магнитных усилителей) и т. д. Кроме того, тахогенератор выполняет

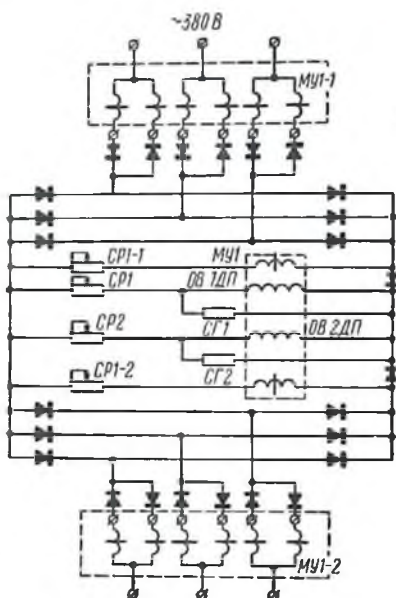


Рис. 6.7. Схема включения обмоток возбуждения двигателей постоянного тока.

и некоторые вспомогательные функции по контролю за фактической скоростью вентилятора. Из приведенного описания и рисунка становятся ясны основные задачи наладчика. Коротко их можно свести к следующему:

наладка и испытание схем управления пуском асинхронных двигателей, включая и пусковые роторные сопротивления;

наладка и испытание высоковольтного распределительного устройства для пуска синхронных и асинхронных двигателей, а также батарей статических конденсаторов;

наладка и испытание синхронного двигателя;

наладка и испытание асинхронных двигателей вентиляторов;

наладка и испытание двигателей постоянного тока;

испытание характеристик и наладка силовых магнитных усилителей;

наладка и испытание схемы управления пуском синхронного двигателя;

наладка и испытание аппаратуры КИП по контролю за расходом и напором воздуха;

наладка схем управления вспомогательными приводами;

наладка системы маслосмазки (на вентиляторах ВЦД-40 еще оставлена принудительная система маслосмазки);

наладка схем сигнализации и контроля температуры.

Из приведенного перечня ясно, что наладка большинства узлов рассматривалась ранее при описании методов наладки

отдельных видов оборудования. Применительно к схемам управления вентиляторами целесообразно сделать только некоторые дополнительные замечания по отдельным узлам схемы.

Как и для вентиляторов ВРЦД-4,5, большое внимание следует уделять проверке расчета пусковых роторных сопротивлений и контролю за выбором их ПВ. На некоторых вентиляторных установках, особенно получающих электроснабжение по длинным высоковольтным линиям 6—10 кВ, время пуска вентилятора увеличивается, кроме того, иногда вентилятор работает некоторое время с подключенным пусковым сопротивлением (или частью его), чаще всего это бывает во время наладочных работ. Число ступеней роторного сопротивления при пуске вентиляторов невелико, это вызывает увеличенные толчки тока ротора и статора в момент переключения ступеней роторного сопротивления, что также необходимо учитывать при выборе фактической величины ПВ. Повышенные толчки тока следует учитывать и при выборе уставок максимальной защиты и защиты от перегруза.

Регулируя величину уставок реле времени, следует с их помощью добиваться равномерных толчков тока в момент переключения ступеней роторного сопротивления; более подробно этот вопрос будет освещен в разделе подъемных установок.

Работа вентилятора с пониженным числом оборотов и малой нагрузкой асинхронных двигателей приводит к значительному снижению коэффициента мощности вентиляторной установки и требует для его компенсации применения специальной батареи статических конденсаторов. В задачу наладчика входит проверка правильности выбора величины емкости батареи и испытания в объеме ПУЭ. Если вентиляторная установка используется для прохождения шахты, причем в течение нескольких лет, когда расход воздуха значительно меньше проектного, а сопротивление вентиляционной сети тоже невелико, вентилятор будет длительное время работать с незначительными нагрузками, намного уменьшая средневзвешенный коэффициент мощности. Проводя наладку для этого периода работы и проверяя емкость батареи, бывает целесообразно увеличивать ее емкость на период строительства шахты. Это бывает тем более необходимым в условиях работы с временными установками, когда еще отсутствуют мощные синхронные двигатели и коэффициент мощности на строящейся шахте особенно низок. Такие условия не всегда учитываются проектными организациями, и выбранной в проекте мощности батареи статических конденсаторов оказывается недостаточно для поддержания нормального коэффициента мощности на период строительства шахты.

Выполняя наладку двигателей постоянного тока, необходимо иметь в виду не совсем обычную схему включения серпесных обмоток (см. рис. 6.6). Она принята для выравнивания нагрузки между двигателями, но в то же время может вызвать колебания числа оборотов при неправильном выборе компенсационной

обмотки или при неправильной ее регулировке. Подобные явления наблюдались в период наладки нескольких вентиляторных установок. Попытки устранить колебания изменением наклона внешней характеристики устраняли колебания при последовательном или параллельном включении двигателей (в зависимости от того, при какой схеме включения пытались устранить колебания), но они снова появлялись при изменении схемы включения двигателей, т. е. если колебания были устранены при последовательном включении, то появлялись при параллельном, и наоборот. Устранить колебания удавалось только при изменении магнитного потока в компенсационной обмотке. Позже завод начал высылать измененные обмотки.

Вся эта работа проводилась после наладки схемы управления силой тока в обмотках возбуждения двигателей постоянного тока. Для регулирования силы тока в обмотках возбуждения применены силовые магнитные усилители. Налаживая их, снимали вначале характеристики усилителей, затем вводили отрицательную обратную связь для уменьшения влияния колебаний напряжения и температуры на режим работы усилителя и, наконец, снимали характеристику х. х. двигателя постоянного тока для выяснения величины петли гистерезиса. Для поддержания заданной скорости вентилятора при определенной величине задающего тока в обмотке управления магнитного усилителя была введена отрицательная обратная связь по напряжению тахогенератора. Следует отметить, что в рассматриваемой схеме можно получить достаточную точность в поддержании заданной скорости, если ввести отрицательную обратную связь по напряжению двигателя постоянного тока и не использовать тахогенератор.

При наладке узла управления силой тока возбуждения необходимо:

руководствуясь данными проекта и снятыми характеристиками, определить пределы изменения силы тока в задающей обмотке усилителя. Эти пределы будут зависеть от глубины регулирования, номинальной силы тока в обмотке и допустимой силы тока по нагреву, заданной точности поддержания скорости и колебаний напряжения в сети переменного тока (точнее от допустимой величины колебаний скорости вследствие колебаний напряжения в сети переменного тока);

отрегулировать силу тока в обмотках отрицательной обратной связи;

снять характеристику х. х. двигателей постоянного тока после включения обмоток отрицательной обратной связи;

снять нагрузочные характеристики двигателей постоянного тока;

провести опыт регулирования скорости каждого асинхронного двигателя до соединения его с валом вентилятора, во время которого записать данные силы тока в обмотке возбуждения двигателя постоянного тока, силы тока в задающей обмотке усилителя,

напряжения тахогенератора и числа оборотов двигателя. На основании полученных величин построить кривые:  $u_r = f(i_{r, \Delta})$ ;  $n_{\Delta} = f(i_{r, \Delta})$ ;  $u_r = f(i_2)$ ;  $n_{\Delta} = f(i_2)$ , где  $i_{r, \Delta}$  — ток в обмотке возбуждения;  $i_2$  — ток в задающей обмотке магнитного усилителя;

соединить асинхронные двигатели с валом вентилятора и повторить описанный выше опыт, во время которого регистрировать силу тока в задающей обмотке магнитного усилителя, напряжение тахогенератора и число оборотов вала вентилятора. На основании полученных данных построить кривые:  $u_r = f(i_2)$ ;  $n_{\Delta} = f(i_2)$ ;  $u_r = f(n_{\Delta})$ , где  $u_r$  — напряжение тахогенератора;  $n_{\Delta}$  — число оборотов вентилятора. Указанные кривые необходимо строить для случаев увеличения тока в задающей обмотке усилителя от минимальной до максимальной заданной величины, и наоборот. Только располагая всеми этими данными, можно быть уверенным, что узел налажен правильно и во время работы можно будет получить изменение числа оборотов вентилятора в заданных пределах. Располагая полученными кривыми, проводят переградировку вольтметра, включенного на зажимы якоря тахогенератора, на число оборотов вентилятора. Иногда вместо переградировки около вольтметра приклеивают кривую, дающую зависимость напряжения тахогенератора от числа оборотов вентилятора.

При наладке аппаратуры КИП для контроля величины расхода воздуха и напора, создаваемого вентилятором, следует привлечь службу вентиляции шахты. После того как приборы КИП включены и есть уверенность в их правильной работе, необходимо провести тарировку напоро- и расходомера воздуха. Для этого в присутствии представителей службы вентиляции в здании вентилятора подсоединяют контрольную У-образную трубку, наполненную подкрашенной жидкостью, к выводной трубе из канала вентилятора. Изменяя угол поворота лопаток направляющего аппарата, записывают показания напоромера и жидкости в У-образной трубке. Проводя этот опыт желательно получить изменение напора, создаваемого вентилятором, в пределах, предусмотренных проектом. На основании полученных данных производят тарировку вторичных приборов напоромера в здании вентилятора и у диспетчера шахты.

Для тарировки прибора, измеряющего расход воздуха, необходимо, изменяя фактический расход воздуха с помощью направляющего аппарата, одновременно записывать показания расходомера и данные о фактическом расходе воздуха в канале вентилятора, измеренные службой вентиляции в контрольной части вентиляционного канала. Расход воздуха желательно изменять в пределах, предусмотренных проектом, и получить во время проведения опыта не менее четырех-пяти данных, на основании которых и оттарировать прибор.

## НАЛАДКА ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УЗЛОВ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН

### § 7.1. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ РОТОРНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

В каждом проекте электрооборудования подъемной установки помещается диаграмма скорости и нагрузки (рис. 7.1) и приведены основные данные, характеризующие работу подъема. Анализируя их, можно выяснить средние пусковой ток и момент, развиваемый двигателем:

$$I_{\text{ср}} = I_{\text{н.р}} \frac{P_{\text{эф}} F_{\text{мах}}}{P_{\text{н}} F_{\text{эф}}}; \quad (7.1)$$

$$M_{\text{ср}} = M_{\text{н}} \frac{I_{\text{ср}}}{I_{\text{н.р}}} = 975 \frac{P_{\text{н}}}{n} i \frac{I_{\text{ср}}}{I_{\text{н.р}}}, \quad (7.2)$$

где  $I_{\text{н.р}}$  — номинальный ток ротора двигателя, А;  $M_{\text{н}}$  — номинальный момент двигателя, приведенный к диаметру барабана (канатоведущего шкива), кг·см;  $P_{\text{эф}}$  — эффективная мощность двигателя по данным проекта, кВт;  $F_{\text{мах}}$  — максимальное пусковое усилие (из диаграммы), кгс;  $i$  — передаточное отношение редуктора;  $P_{\text{н}}$  — номинальная мощность двигателя по данным проекта, кВт;  $F_{\text{эф}}$  — эффективное пусковое усилие (из диаграммы), кгс.

Наибольшая продолжительность включения пусковых ступеней может быть найдена по данным диаграммы. Для скипов, опрокидных и многостажных клеток продолжительность включения

$$\text{ПВ} = \frac{t_1 + t'_1 + 0,4(t_2 + t'_2)}{T}, \quad \%, \quad (7.3)$$

где  $t_1$  — время разгона с учетом движения в кривых для первого сосуда, с;  $t_2$  — время замедления с учетом движения в кривых для первого сосуда;  $t'_1$ ,  $t'_2$  — то же, соответственно для второго сосуда;  $T$  — полное время цикла (с паузами) для двух сосудов.

Как показывает опыт, до 20% пути замедления подъемный сосуд движется при включенном двигателе, а при проходе кривых двигатель включен все время. Используя идеальную диаграмму (ту, что приведена в проекте), проектные организации не всегда учитывают второй член формулы (7.3), получая заниженные значения ПВ.

Для простых клеток и клеток с противовесом коэффициент при втором члене нужно уменьшить вдвое. При наличии дина-

ческого торможения для всех типов сосудов он равен единице. Полученный результат ПВ нужно сравнить с проектными величинами, приведенными в расчете роторных сопротивлений. Если ток ротора и принятые ПВ отличаются, делают проверочный расчет, так как сопротивления могут не соответствовать тепловому режиму. Одновременно, анализируя проектные данные расчета роторных сопротивлений, обращают внимание на величину сопротивления пусковых и регулировочных ступеней. Сначала проверяют сопротивление первой и второй ступеней, при выключении которых двигатель должен обеспечить движение

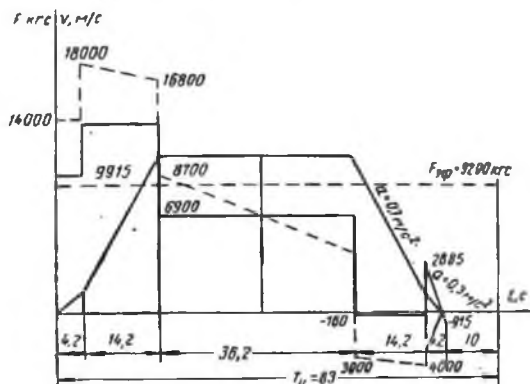


Рис. 7.1. Диаграмма скоростей и усилий подъемной установки

грузового подъемного сосуда в кривых или сообщить ему начальное ускорение при подъеме груза. Требуемый момент двигателя

$$M = (1,2 \div 1,4) M_n \frac{Q_r - qH}{F_n}, \quad (7.4)$$

где  $Q_r$  — вес поднимаемого груза, предусмотренный проектом, кгс;  $q$  — вес 1 м каната, кгс;  $H$  — длина каната, м;  $F_n$  — номинальное усилие двигателя, приведенное к диаметру навивки, кгс.

При уравновешенном подъеме второй член в формуле (7.4) равен нулю. Сопротивление роторной цепи на первой ступени

$$R_1 = 0,9 \frac{U_p}{I_p} \cdot \frac{F_n}{Q_r - qH}, \quad (7.5)$$

где  $I_p$  — ток ротора;  $U_p$  — напряжение ротора.

Коэффициент 0,9 учитывает возможность создания ускорения в пределах 0,3—0,4 м/с. Переход на вторую ступень должен обеспечить проектное ускорение. Эта же ступень должна дать возможность производить перестановку подъемных сосудов, когда величина концевой нагрузки становится максимальной.

Соппротивление роторной цепи для второй ступени подсчитывают по формуле

$$R_2 = \frac{U_p}{1.4I_p} \cdot \frac{F_n}{F_{\max}} \quad (7.6)$$

и проверяют при перестановке.

Если  $F_{\max} < Q_k + qH$ , то результат, полученный по (7.6), заменяют, используя формулу

$$R_2 = \frac{U_p}{1.4I_p} \cdot \frac{F_n}{Q_k + qH}, \quad (7.7)$$

где  $Q_k$  — вес клетки с прицепным устройством и парашютами.

При подъеме с хвостовым канатом необходимо учитывать вес подвешенного устройства, а вес 1 м каната принимать по наибольшему значению. Соппротивление роторной цепи на остальных ступенях вычисляют с учетом коэффициента переключения

$$\lambda = \sqrt{\frac{1}{s_{\min}}}, \quad (7.8)$$

где  $n$  — число контакторов магнитной станции (без учета маневровых);  $s_{\min}$  — скольжение на естественной характеристике.

Если сопротивление роторной цепи для второй ступени не отличается более чем на 15% от проектного для этой же ступени, можно оставить проектную разбивку роторного сопротивления, но выполнение схемы следует проверить и результаты занести в протокол.

Колебания в 15—20% вполне допустимы, так как при чугунных сопротивлениях большей точности с учетом температурного коэффициента сопротивления добиться вообще невозможно. Применяя фехрелевые сопротивления, также допускают ошибку в указанных пределах из-за более грубой разбивки ящичков (на 5 частей вместо 20), колебания напряжения в системе, переменных сопротивлений ствола и неточности в определении концевой нагрузки.

Корректировку величины ускорения для приближения к проектным данным получают настройкой реле тока и реле времени.

Если считать, что вторая ступень роторного сопротивления является первой пусковой ступенью, величина сопротивления каждой следующей ступени:

$$R_n = \frac{R_{n-1}}{\lambda}; \quad (7.9)$$

$$R_{cn} = R_{n-1} - R_n, \quad (7.10)$$

где  $R_n$  — сопротивление цепи ротора на следующей ступени, например третьей, Ом;  $R_{n-1}$  — сопротивление цепи ротора на предыдущей ступени, определенное ранее, например, если это вторая ступень, то величина сопротивления цепи ротора вычисля-

лась по формулам (7.6) и (7.7), Ом;  $R_{с.л}$  — величина сопротивления одной ступени, например второй.

Применяя формулы (7.10) и (6.9), последовательно вычисляют сопротивления всех ступеней роторной цепи. Следует иметь в виду, что величина сопротивления роторной цепи на последней ступени должна давать такое же отношение к фактическому сопротивлению ротора двигателя, измеренному при наладке; после подстановки в формулу (7.10) вместо  $R_{n-1}$  величины сопротивления цепи ротора на последней ступени, а вместо  $R_n$  величины сопротивления последней ступени (с учетом сопротивления соединительных кабелей) полученный результат должен быть равен фактическому сопротивлению ротора двигателя с учетом переходного сопротивления контактных колец. Если вычисленный по формуле (7.10) результат будет значительно больше измеренных фактических величин, следует увеличить величину  $\lambda$  и провести весь расчет снова. Скорректированная величина

$$\lambda_c = \lambda + \sqrt{\frac{R_n}{R_p}} - \lambda, \quad (7.11)$$

где  $R_n$  — величина сопротивления цепи ротора на последней ступени, вычисленная при первоначальном расчете, Ом;  $R_p$  — сопротивление ротора плюс сопротивление переходного контакта и подводных кабелей, Ом.

Формулой (7.11) можно пользоваться, если первоначальная ошибка при расчете находилась в пределах 30—50% заданной величины, при большей величине ошибки целесообразно провести расчет, уточнив величину пускового сопротивления роторной цепи, несколько увеличив или уменьшив ее в зависимости от того, с каким знаком была получена ошибка в первоначальном расчете (если результат, вычисленный по формуле (7.10), дал величину меньше роторного сопротивления, несколько увеличивают сопротивление цепи ротора, и наоборот).

## § 7.2. НАСТРОЙКА РЕЛЕ РТУ

При использовании типовой схемы управления двигателем в функции тока и времени, включая реверсор, подают напряжение на статор двигателя. Одновременно один из блок-контактов В или Н через реле РДБ размыкает цепь реле РУ1, подготавливая включение первой ступени с выдержкой времени в 0,3—0,5 с. Контактор первой ступени, выключая часть сопротивления, создает условия для начала разгона или движения грузевого сосуда на повышенной скорости, одновременно своим блок-контактом он размыкает цепь реле РУ2 и, если рукоятка управления переставлена в крайнее положение, через 1 с включается контактор У2, и двигатель начинает разгоняться по заданной диаграмме. Для поддержания повышенной скорости рукоятку управления не переводят в крайнее положение, а, оставая в промежуточном,

препятствуют включению контактора У2. После окончания пути с пониженной скоростью, рукоятку ставят в крайнее положение, осуществляя обычный запуск. Включение контактора У2 создаст большой бросок тока. Реле РТУ замыкает свой контакт, создавая обходную цепь для реле РУ3. Эта цепь разомкнется только тогда, когда реле РТУ отпустит свои контакты и реле РУ3 окажется обесточенным и с соответствующей выдержкой времени подаст сигнал на включение У3 и т. д. Для осуществления такого запуска остается выяснить пределы пастройки реле РТУ и РУ. Настройка этих реле должна быть выполнена в соответствии с требованиями проекта к условиям разгона двигателя (соблюдение величины ускорения при пуске).

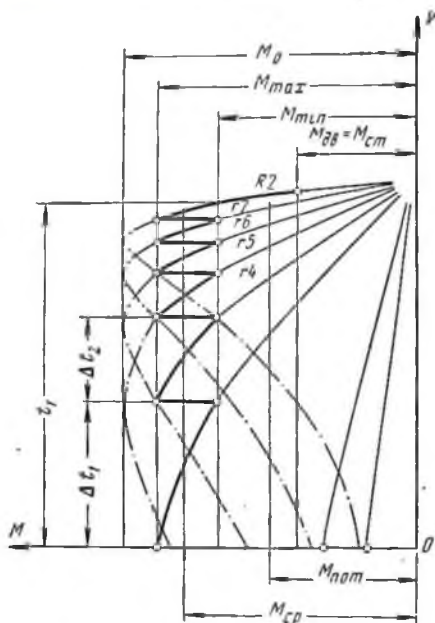


Рис. 7.2. Изменение моментов при пуске двигателя по току и времени

Момент, развиваемый двигателем при пуске, изменяется в пределах  $M_{\max} - M_{\min}$  (рис. 7.2). Средний пусковой момент двигателя соответствует наибольшему усилию, требуемому для работы по заданной диаграмме (см. рис. 7.1 и 7.2) в период разгона. Кривая момента  $(0,3 \div 0,4) M_n$  получается при полностью введенном сопротивлении. Она не предназначена

для разгона, а используется только во время реваши.

Кривая момента после отключения первой ступени необходима для движения на пониженной скорости и маневров. Величина момента сопротивления при движении сосуда в разгрузочных кривых резко меняется, и иногда требуется переход на кривую, полученную после отключения второй ступени сопротивления, создавшую максимальный момент и служащую начальной для нормального разгона. По условиям работы на кривой первой ступени реле РТУ еще не должно включаться при токе, соответствующем максимальной величине момента первой ступени. В некоторых, особенно сложных случаях пуска кривая второй ступени сопротивления также является промежуточной и не должна создавать максимально возможный движущий момент. Нормальный разгон будет начинаться после отключения третьей

ступени сопротивления. Реле РТУ втянет свой контакт только после включения контактора У.

Нормально ток втягивания якоря реле РТУ должен находиться в пределах

$$1,15I_2 < I_{1p} < I_{\max}, \quad (7.12)$$

где  $I_2$  — наибольший ток для маневровых ступеней, соответствующий моменту  $M_2$  или  $M_3$  (для РТУ — наименьший);  $I_{1p}$  — ток втягивания реле РТУ;  $I_{\max}$  — максимальный пусковой ток.

Отключение реле РТУ происходит при токе, соответствующем  $1,15 M_{\min}$ . Коэффициент возврата реле РТУ должен удовлетворять условию

$$\kappa = \frac{I_{2p}}{I_{1p}} \geq \frac{I_{\min}}{I_2}, \quad (7.13)$$

где  $I_{2p}$  — ток отпущения реле РТУ;  $I_{\min}$  — ток, соответствующий моменту  $M_{\min}$ .

После того как по формуле (7.8) или (7.10) был вычислен коэффициент переключения  $\lambda$ , а из диаграммы получен средний пусковой ток и момент, определяют минимальный и максимальный пусковые моменты:

$$M_{\min} = \frac{2M_{\text{ср}}}{\lambda + 1}; \quad (7.14)$$

$$M_{\max} = \frac{2\lambda}{\lambda + 1} M_{\text{ср}}, \quad (7.15)$$

а затем токи для настройки РТУ

$$I_{2p} = 2,3 \frac{M_{\text{ср}}}{M_n} \cdot \frac{I_{n, \text{с}}}{(\lambda + 1) k_T}, \quad (7.16)$$

где  $k_T$  — коэффициент трансформации трансформатора тока;  $I_{n, \text{с}}$  — номинальный ток статора;

$$I_{1p} = 1,3 \frac{M_2}{M_n} \cdot \frac{I_{n, \text{с}}}{k_T}, \quad (7.17)$$

где  $M_2$  — наибольший момент маневровой ступени.

Эти токи позволяют судить о возможности надежной работы реле РТУ. По данным завода,  $I_{1p}$  должен быть в пределах 4—5 А. В действительности бывает, что  $I_{1p}$  находится в пределах 2—3 А и увеличение его должно вызвать рост ускорения при разгоне выше величин, допускаемых ПБ. В этом случае для обеспечения четкой работы реле РТУ лучше всего заменить трансформаторы тока, выбрав коэффициент трансформации таким, чтобы  $I_{1p}$  находился в пределах 4—5 А, или заменить пружину в реле. Однако последний вариант нежелателен.

### § 7.3. ПРЕДЕЛЫ НАСТРОЙКИ РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Реле времени начинают работать после отключения реле РТУ и обязаны обеспечить включение соответствующего контактора при минимальном моменте переключения. Таким образом, выдержка времени реле должна обеспечить изменение пускового тока от  $1,15 I_{min}$  до  $I_{min}$  и в то же время быть больше времени включения реле РТУ, так как в противном случае на следующей ступени не сработает токовое реле и произойдет преждевременное включение контактора с большим броском тока.

Общее время разгона (см. рис. 7.2) пропорционально полному сопротивлению роторной цепи  $\Sigma R$  (следует учитывать только пусковые ступени, исключая маневровые). Исходя из этого можно найти время разгона на любой пусковой ступени

$$t_n = t_1 \frac{R_n}{\Sigma R} = t_1 \frac{\lambda - 1}{\lambda^n}, \quad (7.18)$$

где  $t_n$  — время разгона на пусковой ступени;  $t_1$  — полное время разгона по диаграмме;  $n$  — число пусковых контакторов до  $n$ -й пусковой ступени.

На восьмиступенчатой станции, если разгон начинается с включения второго контактора, наибольшее число ступеней, участвующих в разгоне, равно семи, а если разгон начинается с третьего контактора — шести.

Используя формулу (7.18), необходимо учитывать, что номера ступеней начинаются со стороны звезды роторных сопротивлений, причем первым номером следует считать пусковую ступень, исключая ступени для маневров.

Выдержка времени на  $n$ -й ступени равна

$$\Delta t_n = 0,15 t_n \frac{1}{\lambda - 1} = 0,15 t_1 \frac{1}{\lambda^n}. \quad (7.19)$$

Эта величина должна быть больше собственного времени срабатывания реле РТУ, в противном случае следующий контактор включится раньше, чем сработает реле РТУ.

Применительно к восьмиступенчатым станциям, получившим наибольшее распространение на подъемных машинах, и для времени разгона 15—20 с установка на последних трех ступенях будет меньше 0,2 с, что явно недопустимо по времени срабатывания реле РТУ, которое колеблется в пределах 0,15—0,25 с; поэтому, начиная с четвертой ступени, целесообразно выдержку времени делать не менее 0,30—0,35 с. Это дает увеличение общего времени разгона на 0,6—0,7 с. Такой величиной даже с учетом большого количества циклов можно смело пренебречь. Выдержка времени для остальных ступеней рассчитывается по приведенным выше формулам.

#### § 7.4. НАСТРОЙКА ТРЕХОБМОТОЧНЫХ РЕЛЕ ПО ТОКУ И ВРЕМЕНИ

В настоящее время еще широко применяются магнитные станции для управления разгоном двигателей шахтных подъемных машин, снабженных трехобмоточными электромагнитными реле, настраиваемыми по току и времени.

Управление включением ступеней роторного сопротивления в этом случае осуществляется по схеме, показанной на рис. 7.3. Принцип работы этих реле и роль отдельных обмоток достаточно освещены в литературе, и подробно останавливаться на этих вопросах нет необходимости. Как следует из рис. 7.3, первые две ступени роторного сопротивления управляются только в функции времени, для чего применяют типовые реле времени. В большинстве случаев эти ступени используются в режиме маневров и поэтому нет необходимости управлять ими в функции тока и времени, кроме того, на первой пусковой ступени трехобмоточное реле не может обеспечить большой выдержки времени, необходимой по условиям пуска. На остальных ступенях трехобмоточные реле создают почти требуемые выдержки времени, правда, иногда меньше, чем необходимо. Причины получения недостаточных выдержек времени будут выяснены в процессе описания методов наладки реле.

Как известно, в трехобмоточных реле магнитные потоки, создаваемые удерживающей и токовой обмотками, совпадают, а магнитный поток от осаживающей обмотки направлен встречно. Величина н. с. удерживающей и осаживающей обмоток подбирается так, чтобы при их включении реле оставалось включенным, а при отключении удерживающей обмотки якорь отпадал с определенной выдержкой времени. Так же как у обычного реле времени, дополнительная регулировка выдержки времени осуществляется грубо — немагнитными прокладками между якорем и сердечником и более тонко — натяжением пружины. Пользоваться пружинной в широких пределах не рекомендуется, так как ухудшаются условия включения реле. Следует отметить, что у трехобмоточных реле роль пружины такая же, как и у однообмоточных. Дополнительные особенности появляются у трехобмоточных реле за счет работы осаживающей и токовой катушек. Степень влияния осаживающей катушки на величину выдержки времени иллюстрируется кривыми, показанными на рис. 7.4. Из приведенных кривых видно, что получить необходимую выдержку времени при работе только удерживающей и осаживающей обмоток можно при токах в осаживающей обмотке, не превышающих 50 мА, и при толщине немагнитной прокладки 0,1—0,15 мм. Труднее выявить влияние токовой обмотки. На рис. 7.5 приведены кривые, характеризующие выдержку времени в функции тока в осаживающей обмотке. Однако они сняты для несколько необычных условий работы. Выдержка времени определялась при мгновенном отключении удерживающей обмотки и

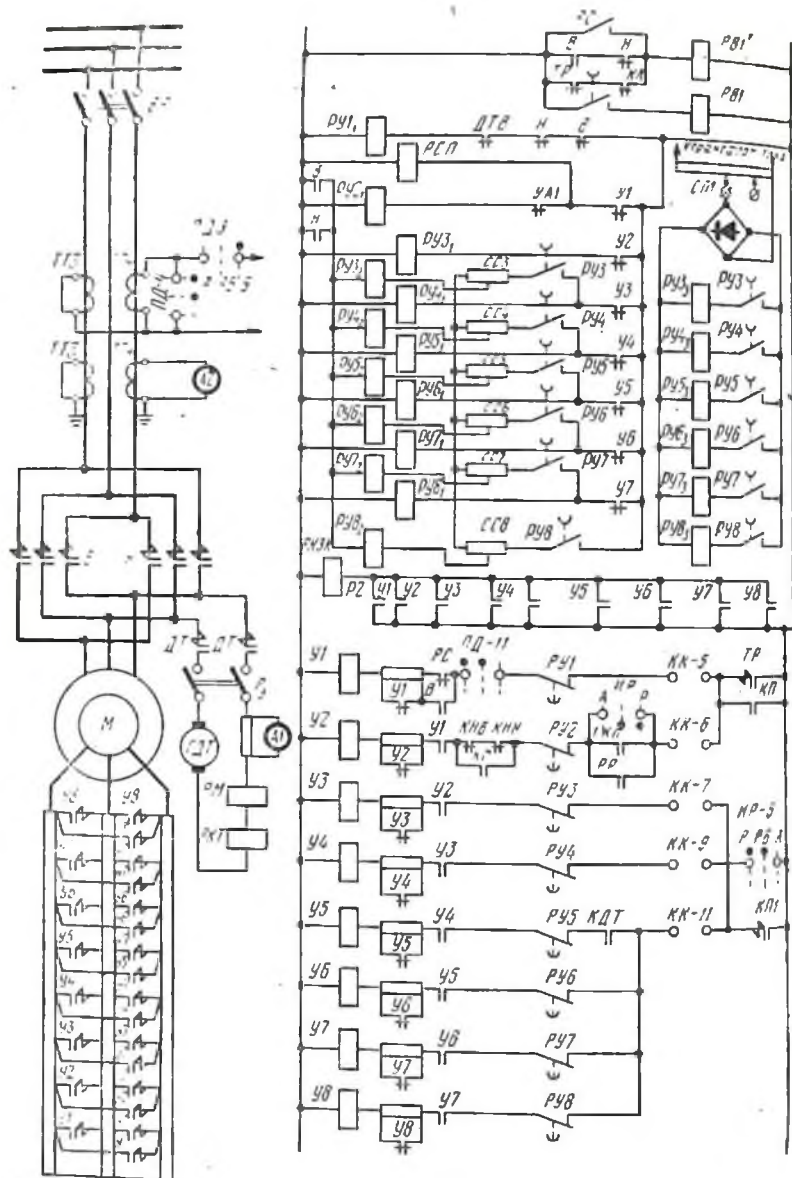


Рис. 7.3. Схема управления пуском двигателя с применением трехобмоточных реле

фиксированной величине тока в токовой обмотке. В действительности же ток в токовой обмотке все время изменяется и, хотя можно выяснить величину выдержки времени при разной скорости спада тока, однако на практике это делать почти бесполезно, так как при разных концевых нагрузках скорость спада тока значительно изменяется; кроме того, скорость спада тока зависит и от относительной скорости машины. Чем выше относительная скорость машины, тем быстрее спадает ток. Более или

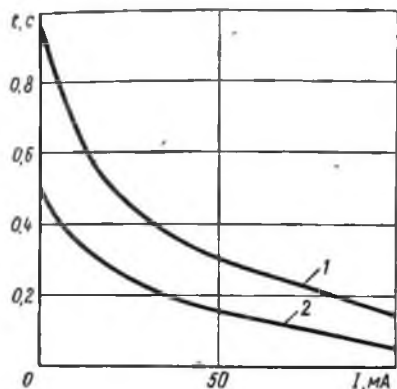


Рис. 7.4. Изменение выдержки времени в зависимости от тока в осаживающей обмотке при разной толщине немагнитной прокладки  $\Delta$ :

1 —  $\Delta = 0,1$  мм; 2 —  $\Delta = 0,2$  мм

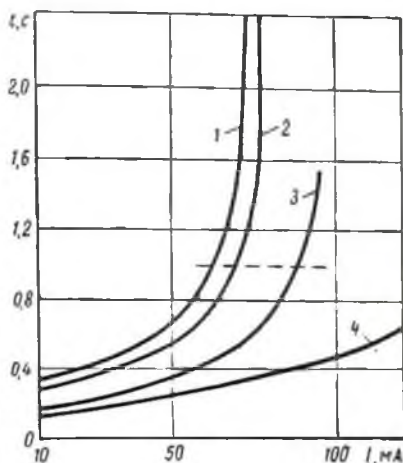


Рис. 7.5. Изменение выдержки времени в зависимости от тока в токовой обмотке при разных токах в осаживающей обмотке:

1 —  $I_{\text{осаж}} = 50$  мА; 2 —  $I_{\text{осаж}} = 60$  мА;  
3 —  $I_{\text{осаж}} = 75$  мА; 4 —  $I_{\text{осаж}} = 100$  мА

менее стабильна она у грузовых подъемов, но и в этом случае концевая нагрузка изменяется в пределах  $\pm 30\%$ , вызывая соответствующие изменения скорости спада тока.

Из сказанного ясно, что вследствие непрерывного спада тока фактическая выдержка времени будет немного меньше величин, характеризуемых кривыми, показанными на рис. 7.5, а в некоторых случаях вообще отсутствовать и все управление будет осуществляться только в функции тока. Это является основным недостатком трехобмоточных реле. Но и при наличии выдержки времени избежать неравномерных толчков тока на отдельных ступенях почти невозможно. Приведенные соображения выявляют и еще одну особенность: большое влияние токовой обмотки на работу реле. Таким образом, выбор величины тока в токовой обмотке — один из существенных факторов в наладке реле, а на его величину большое влияние оказывают и характеристики

трансформаторов тока. Анализируя кривые, приведенные на рис. 7.5, можно прийти к выводу, что предельно устойчивая выдержка времени не превышает 1 с.

Выбор минимальной силы тока и определение выдержки времени, необходимой для работы реле на определенной ступени, следует проводить, руководствуясь следующим:

определить предварительно выдержку времени, используя формулу (7.18) и (7.19);

по формуле (7.16) определить ток  $I_{2p}$  для момента начала отсчета выдержки времени. Для старых схем он будет соответствовать току отключения РТУ;

руководствуясь кривыми рис. 7.5 и выдержками времени, найденными ранее, пометить предварительные границы в осаживающих обмотках всех реле при одном и том же токе в токовой обмотке. В этом случае все найденные выдержки времени должны находиться на одной ординате, пересекаяющей или все кривые 1—4, или часть из них.

Получив, эти предварительные данные, можно приступить к проверке годности трансформатора тока. Из кривых, приведенных на рис. 7.6, следует, что при одной и той же разности токов будет различная разность напряжений. Она зависит, во-первых, от величины нагрузки, включенной на вторичные зажимы транс-

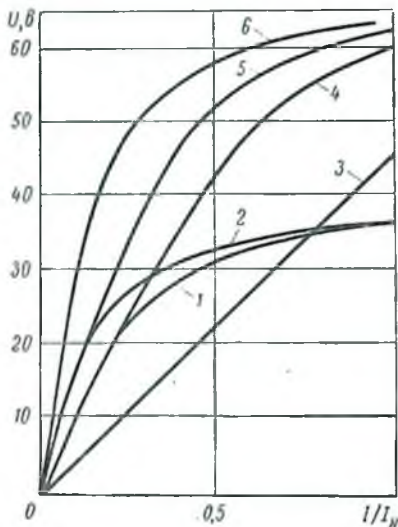


Рис. 7.6. Универсальные характеристики трансформаторов тока при разовой нагрузке по вторичной обмотке:

1, 2 —  $R = 19 \text{ Ом}$ ; 3 —  $R = 5,5 \text{ Ом}$ ; 4 —  $R = 11 \text{ Ом}$ ; 5 —  $R = 19 \text{ Ом}$ ; 6 —  $R = 37 \text{ Ом}$

форматора тока, а во-вторых, от степени насыщения железа трансформатора тока. Изменяя обе эти величины, т. е. подключая различные сопротивления на вторичную обмотку и выбирая разные трансформаторы тока, можно изменять скорость спада тока в токовой обмотке.

Выбирая отрезки характеристики трансформатора тока, необходимо учитывать еще и влияние изменения нагрузки на выбранный отрезок характеристики. На рис. 7.3 показана последовательность отключения ступеней сопротивления при одновременном отключении токовых обмоток от вторичной обмотки трансформатора тока (вначале разгона все токовые обмотки подключены параллельно к вторичной обмотке трансформатора тока). Если

все токовые обмотки подключить непосредственно к зажимам вторичной обмотки трансформатора тока, то по мере их отключения нагрузка будет меняться в 6—7 раз, делая работу отделных реле весьма нестабильной, это ясно видно из характеристик, приведенных на рис. 7.6, поэтому целесообразно подключить эти обмотки потенциометрически (см. рис. 7.3). Основное сопротивление, включенное на зажимы вторичной обмотки трансформатора тока, должно быть в 15—20 раз меньше сопротивления одной катушки токового реле, тогда изменение нагрузки по мере отключения токовых катушек реле будет весьма незначительным.

Эти соображения оказывают существенное влияние на выбор величины трансформатора тока и характер работы реле. Анализируя кривые, приведенные на рис. 7.6, можно прийти к выводу, что целесообразнее всего выбрать трансформаторы тока с двумя вторичными обмотками и включать их последовательно, а величина первичного тока трансформатора тока должна быть такой, чтобы при включении ступеней ток изменялся бы в пределах от 30 до 70% его номинальной величины, причем нижняя граница (30%) должна соответствовать току во вторичной обмотке, равному  $I_{2p}$ .

Выбирая величину балластного сопротивления, подключаемого на зажимы вторичной обмотки трансформатора тока, необходимо измерить сопротивление токовой катушки реле для руководствоваться данными, приведенными в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Сопротивление катушки токового реле, Ом

| Катушка                | Реле с общей катушкой | Реле с отдельными катушками |
|------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Удерживающая . . . . . | 3000                  | 4900                        |
| Осаживающая . . . . .  | 1300                  | 2050                        |
| Токовая . . . . .      | 480                   | 750                         |

Если имеющийся трансформатор тока соответствует приведенным требованиям, его оставляют и приступают к завершающему этапу работы по наладке. Определив величину балластного сопротивления, его подключают ко вторичной обмотке трансформатора тока или к двум вторичным обмоткам, соединенным последовательно, и снимают кривую намагничивая, собирая схему в соответствии с рис. 2.13.

Руководствуясь величиной тока  $I_{2p}$ , определяют нижние границы напряжения на зажимах вторичной обмотки при полностью включенных токовых обмотках и только при одной включенной токовой обмотке. Если полученные величины не отличаются друг от друга более чем на 10%, изменение напряжения не учитывают

при дальнейшей паладке. При больших величинах его необходимо учитывать при расчете тока в осаживающей обмотке.

Зная напряжение на зажимах токовой обмотки  $U_{2p}$ , соответствующее току  $I_{2p}$ , определяют силу тока в токовых обмотках

$$i_{2p} = \frac{U_{2p}}{R_T}. \quad (7.20)$$

Затем по выдержкам времени, найденным по формулам (7.18) и (7.19), и току  $I_{2p}$  по кривым (см. рис. 7.5) находят токи в осаживающих обмотках для каждой ступени роторного сопротивления.

Исходя из сказанного выше намечается следующий порядок паладки реле:

1) руководствуясь формулами (7.15)—(7.17) и проектными данными, определяют границы изменения моментов и токов статора во время разгона двигателя;

2) используя проектные данные и формулы (7.18) и (7.19), рассчитывают величину выдержек реле на отдельных ступенях роторного сопротивления, руководствуясь соображениями, приведенными в § 7.3;

3) по формуле (7.16) определяют ток  $I_{2p}$ ;

4) используя данные пп. 1 и 3, проверяют пригодность для паладки предусмотренного проектом трансформатора тока, и если он не отвечает необходимым требованиям, упомянутым выше, его заменяют;

5) измеряя сопротивление катушек реле или руководствуясь приведенными выше сведениями, выбирают величину балластного сопротивления;

6) подключая балластное сопротивление к зажимам вторичной обмотки трансформатора тока, снимают вольт-амперные характеристики;

7) по кривой намагничивания находят напряжение, соответствующее току  $I_{2p}$ ;

8) определяют токи в токовых обмотках, соответствующие току  $I_{2p}$ , используя формулу (7.20);

9) на основании данных п. 8 по кривым (см. рис. 7.5) в соответствии с величинами выдержки времени, полученными в п. 2, определяют токи в осаживающих катушках. Полученные величины выдержек времени должны соответствовать данным п. 2. Если имеется расхождение, его ликвидируют регулировкой натяжения пружины, толщины немагнитной прокладки, изменяя силу тока в осаживающей обмотке или удерживающей катушке. Тот или иной метод выбирается в зависимости от величины расхождения между фактическими и расчетными величинами;

10) имея данные о токах осаживающих обмоток и зная выдержки времени, проверяют токи в удерживающих обмотках, руководствуясь кривыми, показанными на рис. 7.4. Это необходимо для режимов спуска груза;

11) руководствуясь полученными данными, предварительно проверив полярность, подключают все обмотки, чтобы по ним протекали заданные токи, и настраивают реле на заданные выдержки времени, ведя отсчет времени с момента отключения удерживающей катушки.

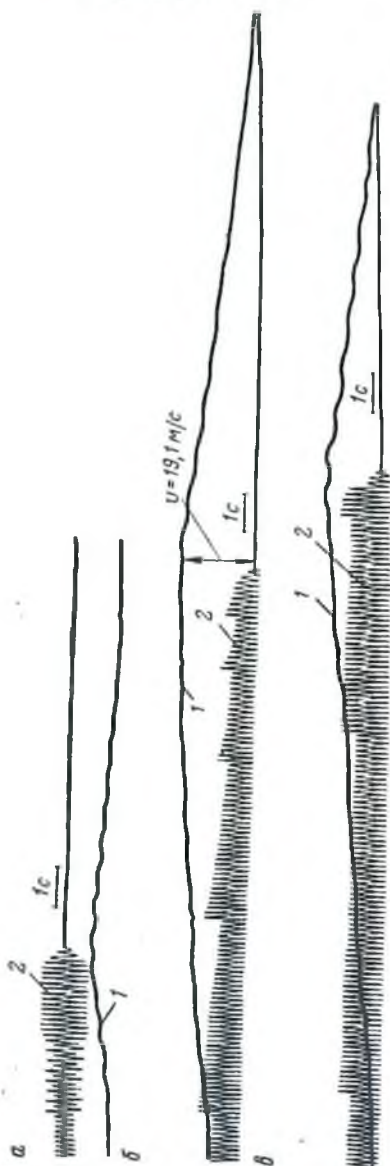
Необходимо иметь в виду, что при работе выдержки времени будут меньше отрегулированных, так как ток в токовой обмотке, достигнув значения, соответствующего  $I_{ар}$  во вторичной обмотке трансформатора тока, не остановится на этой величине, а будет уменьшаться;

12) после окончания наладки магнитной станции (кроме регулировки реле времени она должна включать: проверку силовых контактов и блок-контактов контакторов с соответствующей регулировкой силы натяжения пружин у силовых контактов и блок-контактов, величины раствора контактов и проверку величины провала во включенном состоянии; проверку и регулировку всех установочных сопротивлений; проверку катушек контакторов и правильности выполненной коммутации) снимают осциллограмму разгона двигателя для подъема груза, предусмотренного проектом. Если полученные на осциллограмме броски силы тока на отдельных ступенях отличаются друг от друга на 20% и более, осуществляют дополнительную регулировку выдержки времени отдельных реле, используя для этой цели в первую очередь небольшое изменение натяжения пружины (слишком сильное изменение натяжения пружины может нарушить четкость работы реле, вызывая ложные срабатывания), или меняют толщину немагнитной прокладки. Снимая осциллограмму повторно и получая приемлемые результаты, считают наладку законченной.

## § 7.5. ВЛИЯНИЕ УПРУГОСТИ КАНАТА НА СКОРОСТЬ МАШИНЫ ВО ВРЕМЯ ЕЕ РАЗГОНА

Влияние упругости каната на скорость подъемной машины во время ее разгона было впервые замечено при снятии осциллограмм на подъемных установках, обслуживающих глубокие стволы (глубина ствола 800—1250 м), причем двойной размах колебаний иногда достигал значений 0,6—0,8 м. Для настройки ограничителей скорости и, тем более, для наладки режимов автоматического регулирования такие величины представляют существенное значение. На рис. 7.7 показаны три осциллограммы, снятые во время разгона на различных подъемных установках. На рис. 7.7, а показана осциллограмма частичного разгона и свободного выбега, полученная на подъемной установке МК 3,25 × 4, установленной на стволе глубиной 825 м. Осциллограмма снята в момент подъема противовеса весом 11,2 тс (на другой стороне клеть с пустой вагонеткой, общий вес 8,4 тс). Наибольшая скорость машины 9,5 м/с. На третьей ступени роторного сопротивления двойной размах колебаний во время разгона составил

Рис. 7.7. Осциллограммы скорости асинхронного двигателя в режиме разгона и свободном выбеге после его отключения; 1 — скорость; 2 — ток статора



примерно 0,65 м (скорость в момент отключения 3,1 м/с), после отключения двойной размах колебаний увеличился до 2,1 м.

Полученные величины позволяют сделать следующие выводы:

при амплитуде колебаний в 0,3 м возможны ложные срабатывания ЭОС-2, который контролирует скорость разгона (это крупный недостаток ограничителя);

двойной размах колебаний в 0,65 м, безусловно, вызовет нежелательные явления в установках с автоматическим регулированием скорости, и при паладке подобных установок необходимо принимать специальные меры по подавлению колебаний;

для возникновения колебаний в 0,65 м (двойной размах) в подъемном канате появляются значительные дополнительные динамические усилия. Они возникают из-за включения очередного контактора магнитной станции. На этот вопрос ранее не обращали внимания, но, как будет показано далее, в задачу паладчика (по нашему мнению, и конструкторов проектных организаций, занимающихся проектированием схем управления работой подъемных двигателей) входит уменьшение этих усилий для обеспечения более благоприятных условий работы подъемного каната.

На рис. 7.7, б показана осциллограмма разгона подъем-

ной машины МК 4 × 4, установленной на стволе глубиной 1012 м с двумя клетями, весом по 6,8 тс каждая. Концевой груз 5,4 тс. Оциллограмма снята в момент подъема наибольшего груза. Колебания заметны во время разгона на второй и третьей ступенях роторного сопротивления, скорость в момент отключения 10,1 м/с, наибольшая величина двойного размаха колебаний во время разгона 0,5 м, после отключения наибольшая величина двойного размаха колебаний достигла 1 м. И в этом случае динамические усилия, возникающие в момент включения контактора, довольно велики и, безусловно, вызывают усиленное старение каната.

На рис. 7.7, в показана оциллограмма разгона двухклетевой подъемной установки с подъемной машиной МК 4 × 4, установленной на стволе глубиной 1215 м. Концевой груз и клетя такие же, как и в предыдущем случае, наибольшая скорость 10,9 м/с. Был проведен неполный разгон, во время которого колебания отмечены на второй и третьей ступенях роторного сопротивления.

Наибольшая скорость в момент отключения 7,1 м/с, наибольший двойной размах колебаний в период разгона 0,6 м и свободного выбега—1,4 м. Для анализа явлений, происходящих во время разгона и при свободном выбеге, наиболее важен случай, когда груженный подъемный сосуд находится у нижней, а пустой — у верхней приемной площадке. В этом случае можно пренебречь на одной ветви отрезком хвостового каната (нижний сосуд), а на другой — головного, т. е. рассматривать явления, вызванные, с одной стороны, колебаниями головного каната, нагруженного подъемным сосудом и полезным грузом, а с другой — колебаниями хвостового каната.

При нормальной эксплуатации можно считать, что все головные канаты нагружены одинаково и работают в одинаковых условиях, т. е. сведем вопрос к рассмотрению явлений в одном канате, имеющем вес, равный весам всех головных (или хвостовых) канатов и обладающем модулем упругости, равным модулю упругости каждого отдельного каната. Хвостовой канат растянут силой собственного веса, и в момент наброса или сброса нагрузки (включение контактора роторного сопротивления, отключение двигателя подъемной машины) получает мгновенный импульс

При подобной постановке задачи ее решение будет очень близко к случаю, рассмотренному ранее [30] при набросе нагрузки в момент встречи подъемных сосудов в стволе, так как будет отсутствовать только второй подъемный сосуд. Для выяснения величины динамических усилий в канатах, вызванных колебаниями масс, приведенных к ободу канатопроводящего шкива и колебаниями масс концевой нагрузки воспользуемся дифференциальными уравнениями для определения продольных смещений в любой точке каната. Индексом для всех членов уравнений

на стороне груза будет «Г», а на стороне хвостового каната — «Х».

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 u_r}{\partial t^2} - b^2 \frac{\partial^2 u_r}{\partial x^2} - g + a &= 0; \\ \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} - b^2 \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} - g - a &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (7.21)$$

с граничными

$$\left. \begin{aligned} m \left( \frac{\partial^2 u_r(0, t)}{\partial t^2} + a \right) + ES \left( \frac{\partial u_r(0, t)}{\partial x} - \frac{\partial u_x(0, t)}{\partial x} \right) &= 0; \\ \frac{Q}{g} \left( \frac{\partial^2 u_r(l, t)}{\partial t^2} - a \right) + ES \frac{\partial u_r(l, t)}{\partial x} &= Q, \quad u_x(-l, t) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (7.22)$$

и начальными условиями

$$\left. \begin{aligned} u_r(x, 0) &= \frac{Qx}{ES} + \frac{gx}{2b^2} (2l - x); \quad \frac{\partial u_r(x, 0)}{\partial t} = 0; \\ u_x(x, 0) &= \frac{gx}{2b^2} (2l + x), \quad \frac{\partial u_x(x, 0)}{\partial t} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (7.23)$$

Решение уравнений (7.21) можно представить в виде

$$\begin{aligned} u_r(x, t) &= \left[ \frac{Qx}{ES} + \frac{gx}{2b^2} (2l - x) \right] \left( 1 + \frac{a}{g} \right) + \frac{4G}{ES} \frac{a}{g} l \sum_{k=1}^{\infty} \times \\ &\times \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k)}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \operatorname{tg} \rho_k \cos \rho_k \frac{t}{\tau} \sin \rho_k \frac{x-l}{l} - \\ &- \frac{4Q}{ES} \frac{a}{g} l \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_k}{\beta_k (2\beta_k + \sin 2\beta_k)} \cos \beta_k \frac{t+\tau}{\tau} \sin \beta_k \frac{x}{l}; \end{aligned} \quad (7.24)$$

$$\begin{aligned} u_x(x, t) &= \frac{gx}{2b^2} (2l + x) \left( 1 - \frac{a}{g} \right) - \frac{4G}{ES} \frac{a}{g} l \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k)}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \times \\ &\times \operatorname{tg} \rho_k \cos \rho_k \frac{t}{\tau} \rho \frac{x+l}{l} + \frac{16Qk}{ES} \frac{a}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \lambda_k l \sin \lambda_k b t \sin \lambda_k x}{[\pi (2k-1)]^3} l, \end{aligned} \quad (7.25)$$

где  $b$  — скорость распространения упругой волны вдоль каната:

$$b^2 = \frac{ES}{q} g; \quad (7.26)$$

$a$  — установившаяся величина ускорения во время разгона, зависящая от момента, развиваемого двигателем;  $E$  — модуль упругости;  $S$  — площадь поперечного сечения всех проволок каната;  $Q$  — вес подъемного сосуда и груза;  $u(x, t)$  — смещение поперечного сечения каната с абсциссой  $x$  в момент времени  $t$ ;  $G = mg$  — приведенный к ободу канатопроводящего шкива вес всех вращающихся частей (включая и пустой сосуд);  $Q_k$  — сум-

марный вес головных канатов (то же, хвостовых);  $\rho_k, \beta_k, \lambda_k$  — собственные числа в решениях (7.24) и (7.25), определяемые равенствами

$$\rho_k \operatorname{tg} \rho_k = \frac{2Q_k}{G}; \quad \beta_k \operatorname{tg} \beta_k = \frac{Q_k}{Q}; \quad \lambda_k = \frac{\pi(2k-1)}{2l}; \quad (7.27)$$

$\tau$  — время распространения упругой волны вдоль каната,

$$\tau = \frac{l}{b}. \quad (7.28)$$

При решении уравнений (7.21) считалось, что начало координат расположено в точке схода каната с канатоведущего шкива, причем за положительное направление было принято направление к подъемному сосуду. Так как нас интересует только величина колебаний скорости, считалось возможным не учитывать влияние динамических усилий в одном канате на величину их в другом\*.

Дифференцируя равенства (7.24) и (7.25) по  $x$  и умножая результат на  $ES$ , получим величину динамических усилий в точках схода канатов с барабана, вызванную колебаниями концевых масс и самих канатов:

$$\begin{aligned} F_r(t) &= (Q + Q_k) \left(1 + \frac{a}{g}\right) + \\ &+ 4G \frac{a}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k) \sin \rho_k}{2\rho_k + \sin 2\rho_k} \cos \rho_k \frac{t}{\tau} - \\ &- 4Q \frac{a}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_k}{2\beta_k + \sin 2\beta_k} \cos \beta_k \frac{t + \tau}{\tau}; \end{aligned} \quad (7.29)$$

$$\begin{aligned} F_x(t) &= Q_k \left(1 - \frac{a}{g}\right) - \\ &- 4G \frac{a}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k) \sin \rho_k}{2\rho_k + \sin 2\rho_k} \cos \rho_k \frac{t}{\tau} + \\ &+ 8Q_k \frac{a}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \lambda_k l \sin \lambda_k b t}{[\pi(2k-1)]^2}. \end{aligned} \quad (7.30)$$

Для определения величины колебаний скорости необходимо решить уравнение движения машины

$$m \frac{dv}{dt} - F_r(t) + F_x(t) + F_d = 0, \quad (7.31)$$

где  $m$  — масса машины, приведенная к канатоведущему шкиву, плюс масса подъемного сосуда, находящегося у верхней приемной площадки, плюс масса отводных шкивов, тоже приведенная

\* См. приложение I.

к калатоведущему шкиву;  $F_d$  — усилие, развиваемое двигателем в приведенное к калатоведущему шкиву.

Перед интегрированием уравнения (7.31) необходимо остановиться на величине усилия, развиваемого двигателем. Как известно, при большинстве расчетов роторных сопротивлений кривые моментов, показанные на рис. 7.2, а точнее их устойчивую часть, заменяют прямыми, принимая линейную зависимость между усилием, развиваемым двигателем, и скоростью машины

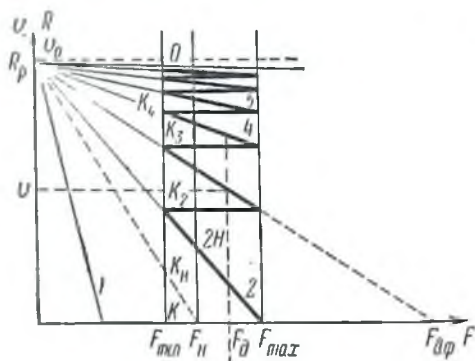


Рис. 7.8. Спрямленные характеристики асинхронного двигателя

тора, при котором неподвижный двигатель развивает номинальное усилие;  $v$  — скорость машины во время разгона;  $v_0$  — наибольшая скорость машины во время равномерного движения;  $R$  — сопротивление в цепи ротора при любой промежуточной ступени.

Для выяснения влияния крутизны характеристик на амплитуду колебаний скорости остановимся подробнее на понятии фиктивного усилия  $F_{\text{ф}}$  [см. формулу (7.32)]. Для этого можно использовать спрямленные характеристики, показанные на рис. 7.8. Непосредственно из рисунка следует что:

по оси ординат можно откладывать скорость и величину расчетного пускового сопротивления, в этом случае отрезок  $OK$  в определенном масштабе дает величину расчетного сопротивления;

отрезки  $OK_2, OK_3$  и т. д. в том же масштабе, что и  $OK$ , дают сопротивления цепи ротора для соответствующих ступеней роторного сопротивления;

отрезок  $OK_n$  в том же масштабе, что и  $OK$ , дает величину  $R_n$ .  
Из отношений

$$\frac{F_{A, \text{н}}}{F_{\text{млн}}} = \frac{OK}{OK_3} = \frac{R_{\text{рас}}}{R_3}; \quad \frac{F_A}{F_{A, \text{ф}}} = \frac{v_0 - v}{v_0}; \quad \frac{R_{\text{рас}}}{R_H} = \frac{F_H}{F_{\text{млн}}}$$

нетрудно убедиться, что для третьей ступени будет справедливо равенство

$$F_{д. \Phi} = \frac{F_{II} R_{II}}{R_3}. \quad (7.34)$$

Аналогичный вывод можно сделать для любой ступени. Используя эти закономерности при интегрировании уравнения (7.31), после преобразований получим<sup>1</sup>:

$$\begin{aligned} v &= v_k + (v_n - v_k) e^{-\frac{t}{T}} - \\ &- 8a\tau \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k) \sin \rho_k}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \cdot \frac{\frac{\rho_k}{\tau}}{\frac{1}{T^2} + \left(\frac{\rho_k}{\tau}\right)^2} \times \\ &\times \left[ \frac{\rho_k}{\tau} \sin \rho_k \frac{t}{\tau} + \frac{1}{T} \cos \rho_k \frac{t}{\tau} \right] + \\ &+ 4 \frac{Q}{G} a\tau \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_k}{\beta_k (2\beta_k + \sin 2\beta_k)} \cdot \frac{\frac{\beta_k}{\tau}}{\frac{1}{T^2} + \left(\frac{\beta_k}{\tau}\right)^2} \times \\ &\times \left[ \frac{\beta_k}{\tau} \sin \beta_k \frac{t+\tau}{\tau} + \frac{1}{T} \cos \beta_k \frac{t+\tau}{\tau} \right] + \\ &+ 16 \frac{Q_k}{G} a\tau \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\lambda_{kb} \sin \lambda_{kl}}{\frac{1}{T^2} + (\lambda_{kb})^2} \frac{\left[ \lambda_{kb} \cos \lambda_{kb} t + \frac{1}{T} \sin \lambda_{kb} t \right]}{[\pi (2k-1)]^3}. \quad (7.35) \end{aligned}$$

Здесь принято:

$$T = \frac{v_0 m}{F_{д. \Phi}} = \frac{v_0}{a_{ср}}; \quad (7.36)$$

$$a = \frac{(F_{д. \Phi} - Q_r) g}{G + Q + 2Q_k}. \quad (7.37)$$

Если принять:

$$\frac{\rho_k}{\tau} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{T^2} + \left(\frac{\rho_k}{\tau}\right)^2}} = \cos \varphi_k; \quad \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{T^2} + \left(\frac{\rho_k}{\tau}\right)^2}} = \sin \varphi_k; \quad (7.38)$$

$$\frac{\beta_k}{\tau} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{T^2} + \left(\frac{\beta_k}{\tau}\right)^2}} = \cos \psi_k; \quad \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{T^2} + \left(\frac{\beta_k}{\tau}\right)^2}} = \sin \psi_k, \quad (7.39)$$

<sup>1</sup> Составляющие, характеризующие переходный процесс во втором, третьем и четвертом членах уравнения (7.35), исключены.

то формулу (7.35) можно привести к виду, более удобному для анализа:

$$v = v_k + (v_n - v_k) e^{-\frac{t}{T}} -$$

$$- 8a\tau \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k) \sin \rho_k}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \cos \varphi_k \sin \left( \rho_k \frac{t}{\tau} + \varphi_k \right) +$$

$$+ \frac{4Q}{G} a\tau \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_k}{\beta_k (2\beta_k + \sin 2\beta_k)} \cos \psi_k \sin \left( \beta_k \frac{t + \tau}{\tau} + \psi_k \right) +$$

$$+ \frac{16Q_k}{G} a\tau \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos \eta_k \cos (\lambda_k b t - \eta_k)}{[\pi (2k - 1)]^3} \sin \lambda_k l. \quad (7.40)$$

По аналогии с формулами (7.38) и (7.39) здесь принято

$$\cos \eta_k = \frac{\lambda_k b}{\sqrt{\frac{1}{T^2} + (\lambda_k b)^2}}; \quad \sin \eta_k = \frac{\frac{1}{T}}{\sqrt{\frac{1}{T^2} + (\lambda_k b)^2}}. \quad (7.41)$$

Непосредственно из формулы (7.36) и рис. 7.8 ясно, что по мере разгона фиктивное усилие резко возрастает, а постоянная времени  $T$  уменьшается, стремясь в пределе к нулю. Пользуясь этим условием, нетрудно прийти к выводу, что колебания скорости при разгоне на ступенях 5 и выше практически незаметны, так как  $\cos \varphi_k$ ,  $\cos \psi_k$  и  $\cos \eta_k$ , входящие в числители амплитуд колебаний, по мере отключения роторного сопротивления и увеличения скорости значительно уменьшаются и становятся близкими к нулю. Уменьшение амплитуды колебаний скорости совсем не означает, что одновременно уменьшаются и амплитуды колебания усилий в канате. Эти амплитуды на всех ступенях роторного сопротивления при разгоне практически остаются постоянными [см. формулы (7.29) и (7.30)]. Из сказанного ясно, что при работе двигателя на естественной характеристике, в том числе и двигателя постоянного тока с независимым возбуждением, колебания скорости практически отсутствуют. Именно по этой причине долгое время не регистрировалось колебания скорости на подъемных установках с приводом Г — Д.

При работе машины на первых пусковых ступенях (без учета предварительных) колебания проявляются наиболее сильно, так как влияние характеристик на них почти отсутствует. Действительно, на первой и второй пусковых ступенях постоянная времени  $T$  находится в пределах 5—12 с, а значит, отношение  $1/T$  значительно меньше единицы, вместе с тем отношение  $\rho_k/\tau$  и  $\beta_k/\tau$  измеряется целыми числами (при глубине шахты 1000 м  $\tau = 0,23$  с, а  $\rho_k$  и  $\beta_k$  обычно находятся в пределах 0,35—0,8).

С уменьшением глубины происходит пропорциональное уменьшение как  $\tau$ , так и  $\rho_k$ ,  $\beta_k$ , поэтому их отношения почти не меняются. Составляющие  $\cos \varphi_k$ ;  $\cos \psi_k$ ;  $\cos \eta_k$  становятся близкими к единице, а углы  $\varphi_k$ ;  $\psi_k$ ;  $\eta_k$  — близкими к нулю, поэтому выражение (7.40) можно заменить более простым, имеющим место при мгновенном набросе или снятии нагрузки (включение очередного контактора магнитной станции или отключение двигателя), а именно

$$v = v_k + (v_{\infty} - v_k) e^{-\frac{t}{\tau}} - 8a\tau \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k) \sin \rho_k}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \sin \rho_k \frac{t}{\tau} + \frac{4Q}{G} \times \\ \times a\tau \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\lg \beta_k}{\beta_k (2\beta_k + \sin 2\beta_k)} \sin \beta_k \frac{t + \tau}{\tau} + \frac{16Q_k}{G} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \lambda_k t \cos \lambda_k b t}{[\pi (2k-1)]^3} a\tau. \quad (7.42)$$

С развитием подъемных установок, имеющих малые массы вращающихся частей, необходимо еще оценить влияние мгновенного наброса нагрузки на работу подъемного каната, так как на таких установках, с одной стороны, возрастают мгновенные ускорения в момент наброса нагрузки (по сравнению с установками, имеющими значительные массы вращающихся и поступательно-движущихся частей), а с другой, возникает настоятельная необходимость уменьшить скорость нарастания усилия во время предохранительного торможения, чтобы обеспечить замедления, при которых не будет подпрыгивания подъемного сосуда.

Для того, чтобы оценить это влияние, целесообразно сравнить усилия, возникающие в подъемном канате из-за колебаний подъемного сосуда, вызванных включением контактора пускового сопротивления, отключением двигателя в момент разгона подъемной установки и возникновением предохранительного торможения. Для первых двух случаев можно воспользоваться формулой (7.29), точнее только последним членом этой формулы, а для третьего, необходимо использовать такое же выражение из формулы, определяющей величину усилия во время предохранительного торможения, как известно [30] оно имеет вид

$$F_{\tau}(t) = 4G \frac{a}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k) \sin \rho_k}{2\rho_k + \sin 2\rho_k} \times \\ \times \left\{ \cos \rho_k \frac{t}{\tau} - \cos \theta_k \left[ \cos \left( \rho_k \frac{t}{\tau} + \theta_k \right) - \cos \theta_k e^{-\frac{t}{\tau_n}} \right] \right\} +$$

$$+ 4Q \frac{a}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\lg \beta_k}{2\beta_k + \sin 2\beta_k} \left\{ \cos \beta_k \frac{t+\tau}{\tau} - \cos \delta_k \left[ \cos \left( \beta_k \frac{t+\tau}{\tau} + \delta_k \right) - \cos \delta_k e^{-\frac{t}{T_n}} \right] \right\}, \quad (7.43)$$

где

$$\cos \theta_k = \frac{T_n}{\sqrt{T_n^2 + \left(\frac{\tau}{\rho_k}\right)^2}}; \quad \cos \delta_k = \frac{T_n}{\sqrt{T_n^2 + \left(\frac{\tau}{\beta_k}\right)^2}}; \quad (7.44)$$

$T_n$  — постоянная времени нарастания тормозного усилия.

Для того чтобы выдержать требования ПБ, необходимо соблюсти условие  $T_n = 0,6$  с (для установок со временем х. х. тормозной системы не более 0,3 с, т. е. для новых машин с малыми массами вращающихся частей).

Безусловно, и в этом случае необходимо использовать только последний член (7.43). По этой формуле можно вычислить изменение  $F_r(t)$  в процессе нарастания тормозного усилия, однако в настоящем случае это нас не интересует, так речь идет только о сравнении величины возникающих усилий при разных условиях работы; поэтому, во-первых, целесообразно рассматривать усилия только в установившемся режиме, а во-вторых, воспользоваться только первыми членами ряда в каждой формуле. Исходя из высказанных соображений, расчет ведем по формулам:

$$F_n = 4Q \frac{a_n}{g} \cdot \frac{\lg \beta}{2\beta + \sin 2\beta}; \quad (7.45)$$

$$F_n = 4Q \frac{a_n}{g} \cdot \frac{\lg \beta}{2\beta + \sin 2\beta} (1 - \cos^2 \delta), \quad (7.46)$$

т. е. будем сравнивать друг с другом только амплитудные значения в первом члене ряда. Сравнение целесообразнее всего выполнить на конкретном примере. Рассмотрим машину МК 4 × 4, приспособленную для условий прохождения ствола.

Глубина ствола 1000 м; тип бады БПСД-5,5; вес бады 3125 кгс, вес породы с пульзой — 9450 кгс; диаметр каната — 36 мм; вес 1000 м каната — 7425 кгс; общая нагрузка на канат — 19 900 кгс; двигатель — АКН-16-51-16, 800 кВт, 290 об/мин, маховой момент ротора 3,37 тс·см<sup>2</sup>, на машине два двигателя; редуктор 2ПД-20, маховой момент на главном валу 157 тс·м<sup>2</sup>; общая приведенная к ободу пазивки масса вращающихся и движущихся частей 8 тс·с<sup>2</sup>/м; замедление свободного выбега  $a = 2,5$  м/с<sup>2</sup>; наибольшее ускорение в момент включения очередного контактора  $a_{\max} = 1,5$  м/с<sup>2</sup>; минимальное ускорению (перед включением контактора)  $a_{\min} = 0,1$  м/с<sup>2</sup>; среднее ускорение при разгоге  $a_{\text{ср}} = 0,75$  м/с<sup>2</sup>; наибольшее тормозное усилие 40 000 кгс; установленное замедление (только от тормозного усилия) 5 м/с<sup>2</sup>. Вспомогательные данные для расчета по формулам (7.45) и (7.46):  $\beta = 0,7$ ;  $\lg \beta = 0,842$ ;  $\sin 2\beta = 0,985$ ;  $\tau = 0,23$  с;  $T_n = 0,6$  с;  $\cos \delta = 0,85$ .

В результате проведенных расчетов получены следующие данные: амплитуда колебаний от включения контактора 2600 кгс; амплитуда колебаний при отключении двигателя после включения контактора (подобное явление может быть при ложном срабатывании огра-

чителя скорости типа ЗОС-2, контролирующего разгон, или при отключении двигателя машинистом во время маневров по перестановке бадьи) 7000 кгс;

амплитуда колебаний только от усилия затормаживания (без учета веса груза) 2700 кгс;

амплитуда колебаний во время предохранительного торможения с учетом влияния концевой нагрузки 6000 кгс.

Первые два результата были получены при использовании формулы (7.45), третий — по формуле (7.46) и, наконец четвертый — при использовании обеих формул.

Полученные результаты наглядно показывают, что отключение двигателя в момент разгона воздействует на канат не менее сильно, чем и режим предохранительного торможения. Очень заметное влияние на амплитуду колебания оказывает скорость нарастания тормозного усилия (по ПБ время создания тормозного момента, равного номинальному усилию, равно 0,8 с с учетом времени х. х. тормозной системы). В вышеприведенном примере оно принято равным 0,3 с; эту цифру очень легко получить, если вспомнить, что  $T_n = 0,6$  с соответствует усилию, равному  $0,632 F_{\max}$ , а номинальное тормозное усилие равно всего  $0,333 F_{\max}$ . Если учесть, что время х. х. в современных тормозных системах обычно не превышает 0,3 с, можно принять время нарастания тормозного усилия до номинальной величины равным 0,5 с и соответственно  $T_n = 1,1$  с, что еще больше снизит амплитуду колебаний, но и в нашем примере амплитуда колебаний уменьшена более чем в три раза по сравнению со случаем мгновенного приложения тормозного усилия, так как нетрудно убедиться, что если бы максимальное тормозное усилие прикладывалось мгновенно, то амплитуда колебания усилий, вызванная им, была бы равна 9000 кгс.

Это соображение и данные о величине колебания усилий в канате от включения очередного контактора роторного сопротивления и отключения двигателя, приведенные выше, наглядно доказывают, что в современных подъемных машинах с малой величиной вращающихся и движущихся масс очень большое влияние на режим работы каната оказывают усилия, возникающие при включении очередного контактора. Если учесть, что при каждом пуске возникает шесть-семь толчков, вызывающих колебания, а такие пуски исчисляются тысячами за срок службы головного каната и его срок службы. Для уменьшения вредного влияния от включения контакторов целесообразно применять двухдвигательный привод и смещать во времени моменты включения контакторов разных магнитных станций (станций первого и второго двигателей). Наилучшие условия для режима работы каната будут при использовании системы Г — Д.

Смещение во времени включения контакторов одной магнитной станции по отношению к другой целесообразно выбирать равным половине времени разгона на каждой ступени. Всю

корректировку схемы управления, обеспечивающую такое смещение, необходимо согласовать с проектной организацией.

Проводя подобные корректировки на многоканатных подъемных машинах, следует иметь в виду, что в подпружиненных редукторах подобное смещение будет вызывать дополнительные усилия в зацеплении и, как следствие, небольшие качания редуктора во время разгона, поэтому изменение схемы управления у многоканатных машин должно быть согласовано и с заводом им. ЛКУ, изготавливающим многоканатные машины с подпружиненными редукторами.

## § 7.6. ЗАДАЧИ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Применение динамического торможения в шахтном подъеме (не учитывая схем автоматизации) вызвано необходимостью одного или одновременно двух условий:

- 1) поддержания постоянства скорости при спуске груза;
- 2) замедления подъемного сосуда на подходе к горизонту.

В зависимости от этого меняются проектные схемы динамического торможения и методы их палатки. В настоящее время наибольшее распространение получили схемы с обратной связью из-за обеспечения отсутствия опрокидывания двигателя в момент перехода с двигательного в режим динамического торможения и предотвращения срабатывания ограничителя скорости. Как известно, переход длится более одной секунды, а за такой отрезок времени при спуске груза скорость может возрасти на 2—3 м и превысить заданную величину.

Для предотвращения срабатывания ограничителя скорости необходимо как можно быстрее уменьшить ее до заданного значения. Выполнить это условие можно только, обеспечив значительное повышение тормозного усилия с помощью обратной связи. Кроме того, в момент перехода в режим динамического торможения отключают иногда не все ступени роторного сопротивления, и, когда после перехода двигатель начинает работать на неустойчивой части характеристики, тоже в большинстве случаев требуется значительное увеличение тормозного усилия. В самом деле, если двигатель, попав на отрезок неустойчивой части характеристики, расположенной вдали от максимума, не сможет вернуться на устойчивую часть, то, в конечном счете, сработает ограничитель скорости.

Но чаще отрезки неустойчивой части характеристики, на которые попадает двигатель после перехода в режим динамического торможения, оказываются недалеко от максимума, и для возвращения двигателя на устойчивую часть характеристики необходимо значительно повысить тормозное усилие, что и выполняется обратной связью. Отсюда следует, что наиболее эффективно обратная связь должна работать при скоростях, близких к номинальной. С уменьшением скорости значение обратной связи па-

дают, и можно получить малую устойчивую скорость при работе на четвертой или пятой ступенях роторного сопротивления. Этого добиваются увеличением заданного тока статора, что более подробно будет рассмотрено при описании методов наладки, а сейчас упомянем, что для достижения поставленной задачи обычно с отключением части роторного сопротивления постепенно увеличивают ток в статоре асинхронного двигателя.

В настоящее время имеется очень большое количество схем управления асинхронным двигателем в режиме динамического торможения. В большей части из них используется обратная

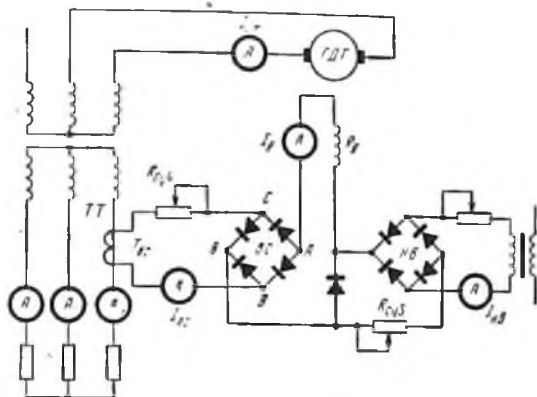


Рис. 7.9. Схема динамического торможения с применением трансформаторов тока и нерасщепленной обмотки возбуждения

связь по току ротора или по скорости. Одновременным увеличением тока в статоре двигателя по мере отключения ступеней роторного сопротивления. Изредка применяют схемы без обратной связи, но с увеличением тока статора по мере отключения сопротивления в цепи ротора. Для управления током статора применяют двигатели постоянного тока с целой или расщепленной обмотками возбуждения. Иногда двигатели постоянного тока заменяют выпрямителями в комбинации с силовыми магнитными усилителями. В последнее время намечаются тенденции использования управляемых выпрямителей для регулирования силы тока в широком диапазоне.

Давать описание большинства существующих схем нецелесообразно, это потребует много места и такое описание мало повлияет на рассмотрение методов наладки, так как в большинстве случаев они зависят от объема задач, поставленных перед динамическим торможением. Достаточно привести описание одной-двух схем и на их примере рассмотреть основные методы наладки схем динамического торможения.

На рис. 7.9 показана схема с нерасщепленной обмоткой возбуждения и одним трансформатором тока для цепей обратной связи. Действие обратной связи проявляется не сразу, а только при определенной величине выпрямленного напряжения, снимаемого со вторичной обмотки трансформатора тока:

$$u_T > \Delta u_d,$$

где  $\Delta u_d$  — падение напряжения в выпрямителе от тока, проходящего через обмотку возбуждения генератора динамического торможения ГДТ;  $u_T$  — выпрямленное напряжение от ТТ.

До тех пор, пока существует обратное явление, т. е.

$$\Delta u_d > u_T,$$

влияние обратной связи отсутствует.

При больших сопротивлениях обмотки возбуждения эта схема вообще малоэффективна, так как быстро наступает насыщение трансформатора тока. Из-за этого недостатка влияние обратной связи становится менее ощутимым в процессе эксплуатации по мере старения выпрямителя и увеличения его внутреннего сопротивления. Учитывая, что нормально работающая обратная связь должна предохранять двигатель от опрокидывания во время перехода из генераторного в режим динамического торможения, наладчик обязан предусмотреть дополнительные мероприятия. Наилучшие результаты в этом случае можно получить путем уменьшения величины добавочного сопротивления  $R_{суд}$  или  $R_{суд2}$  со стороны подачи независимого возбуждения. Это выполняется шунтированием части сопротивления блок-контактами роторных контакторов (на схеме не показано). Вторым способом улучшения работы подобной схемы является применение двух трансформаторов тока с двумя обмотками каждый, в этом случае в цепи обратной связи будут включены четыре обмотки последовательно.

Очень часто ТТ включают в две фазы, а их вторичные обмотки соединяют в неполную звезду. Эффективность обратной связи уменьшается на 14%, но повышается надежность работы, так как нередко случаются неравномерного распределения роторных токов по фазам из-за недоброкачества роторных сопротивлений или их неверной разбивки.

Иногда вместо двух ТТ выбирают один с пониженным в два раза коэффициентом трансформации. Для улучшения теплового режима первичную обмотку шунтируют специальным контактором, разомкнутым только на период динамического торможения. Во избежание перераспределения тока в короткозамкнутой цепи последовательно с первичной обмоткой ТТ включают небольшое омическое сопротивление, равное 0,03—0,05 Ом. Такое добавочное сопротивление, хорошо защищая трансформатор, почти совер-

шени не влияет на работу, так как в двигательном режиме оно зашунтировано, а динамическое торможение осуществляется при значительных величинах роторного сопротивления.

Более полно указанный выше недостаток ликвидируется при разделении обмотки возбуждения ГДТ на две равные части (расщепленные обмотки), подобная схема приведена на рис. 7.10. Одну из них подключают к постороннему источнику постоянного напряжения (обычно им служит стабилизированное напряжение цепи переменного тока, этот вариант приведен на рис. 7.10, для напряжения постоянного тока от генератора, питающего цепи

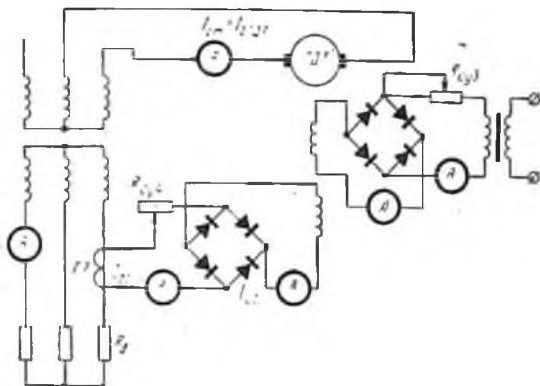


Рис. 7.10. Схема динамического торможения с расщепленной обмоткой возбуждения

управления), а вторую через выпрямитель — ко вторичной обмотке ТТ, находящегося в одной из фаз роторной цепи.

Схема соединения полюсов ГДТ бывает различна и зависит от характеристик отдельных аппаратов. При четырехполюсном генераторе чаще всего первые два последовательных полюса (северный и южный) используют для заданного тока возбуждения, а вторые два, тоже последовательно соединенные, включают в цепь обратной связи. Следует указать, что в этой схеме иногда применяют ТТ с пониженным коэффициентом трансформации, так как такой вариант дает наилучший эффект от обратной связи.

Используя схему, изображенную на рис. 7.10, следует помнить, что для получения напряжения на якоре ГДТ, равного напряжению при нерасщепленной обмотке, необходимо обеспечить равенство ампер-витков возбуждения для первого и второго вариантов, т. е. токи возбуждения для получения одного и того же напряжения при работе обеих схем будут различны (рассматривается только независимый ток возбуждения или только ток от источника обратной связи). Для увеличения силы тока возбуждения от источника обратной связи при работе на пониженных

скоростях можно шунтировать [блок-контактами] роторных кон-  
такторов часть сопротивления  $R_{\text{с.уз.}}$ . Этот вариант на рис. 7.10  
не показан.

## § 7.7. ПАЛАДКА СХЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Приступая к паладке любой схемы, прежде всего выясняют из проекта требуемую величину тормозного усилия, а затем, отключая узел обратной связи, определяют фактическую величину тормозного момента, развиваемого двигателем в режиме динамического торможения на второй и третьей ступенях роторного сопротивления. Для этого проводят несколько опытов, осциллографируя: скорость и время при свободном выбеге машины; скорость, ток статора и время в период динамического торможения.

Так как паладка динамического торможения в большинстве случаев происходит после навески канатов и подъемных сосудов, то все опыты следует проводить на одном и том же участке ствола, причем на основании анализа серии осциллограмм свободного выбега определяют массу всех движущихся частей, приведенную к ободу навески каната, а анализируя осциллограммы динамического торможения строят кривые тормозных усилий.

Для определения величины приведенной массы обычно достаточно четырех опытов свободного выбега. Два из них — с пустыми сосудами, а два — с контрольным грузом, величину которого определяют заранее с точностью до 10 кгс. Все опыты проводят для одного направления движения подъемного сосуда, причем лучше, чтобы как груз, так и неуравновешенная часть каната тормозили подъемный сосуд во время выбега.

Используя кривые скорости, определяют ускорение

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad (7.47)$$

где  $\Delta v$  — приращение скорости за время  $\Delta t$ .

Для уточнения результата на каждой кривой выбирают несколько участков. Зная величину контрольного груза  $F$ , находят приведенную массу

$$m = \frac{F}{a'_n - a''_n}, \quad (7.48)$$

где  $a'_n$  — замедление при выбеге груженого сосуда,  $\text{м/с}^2$ ;  $a''_n$  — замедление при выбеге порожнего сосуда,  $\text{м/с}^2$ .

Для точного определения величины массы очень важно, чтобы  $a'_n$  и  $a''_n$  были вычислены при положении сосуда в одной и той же точке ствола. Если же замедление  $a'_n$  найдено для положения сосуда в одной точке ствола, а замедление  $a''_n$  — для другой,

то необходимо ввести поправку на неуравновешенную часть каната и расчет вести по формуле

$$m = \frac{F - q(H' - H'')}{a_n' - a_n''}, \quad (7.49)$$

где  $q$  — вес 1 м каната, кгс;  $H'$  — длина неуравновешенной части каната при выбеге с грузом (для точки, где определялось ускорение  $a_n'$ ), м;  $H''$  — длина неуравновешенной части каната при выбеге без груза (для точки, где определялось ускорение  $a_n''$ ), м.

Однако формулой (7.49) пользоваться не рекомендуется, так как в разных точках ствола вредные сопротивления могут быть различными, и они внесут существенную неточность в конечный результат. Проводя четыре или шесть опытов, можно получить два или три значения массы и окончательно принять

$$m = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3}. \quad (7.50)$$

После предварительного определения массы на том же отрезке ствола и для тех же направлений вращения двигателя проводят опыты динамического торможения для одной из ступеней роторного сопротивления (лучше всего для третьей) при разных токах статора (обычно  $0,5I_0$ ,  $I_0$ ,  $1,5I_0$  и  $2I_0$ , где  $I_0$  — ток х. х. двигателя по данным каталога или машины) и при наличии контрольного груза в клет. Осциллографируют скорость, ток статора и время. Определяют величины замедлений по кривой скорости из этого опыта и опыта выбега для одинаковых положений сосуда в стволе. Все результаты сводят в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Характеристика для режима динамического торможения

| Длина неуравновешенной части каната, м | Замедление при динамическом торможении, м/с <sup>2</sup> | Замедление при выбеге, м/с <sup>2</sup> | Вес контрольного груза, кгс | Величина тормозного усилия, кгс | Скорость движения сосуда, м/с |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| $H$                                    | $a_d$                                                    | $a_v$                                   | $F$                         | $F_d$                           | $v$                           |

Тормозное усилие находят по формуле

$$F_d = F - m(a_d - a_v''). \quad (7.51)$$

На основании полученных данных строят кривые тормозных усилий. Зная требуемую величину тормозного усилия, окончательно выбирают ток возбуждения для участка подхода подъемного сосуда к приемной площадке, когда влияние обратной связи мало ощутимо, а величина концевой нагрузки может быть

наибольшей (при отсутствии хвостового каната), и проверяют сплыв тока в статоре на участке, где обратная связь действует наиболее сильно. Полученные величины тока статора не должны превышать допустимую величину по условиям нагрева.

Наладку обратной связи ведут в два этапа: предварительно — при заторможенном асинхронном двигателе и питании его статора от сети 6 кВ и окончательно — в режиме динамического торможения при спуске груза, предусмотренного проектом.

Для первого этапа, подготавливая схему, отключают ГДТ от реверсора, размыкают шунтирующие контакты в главной цепи

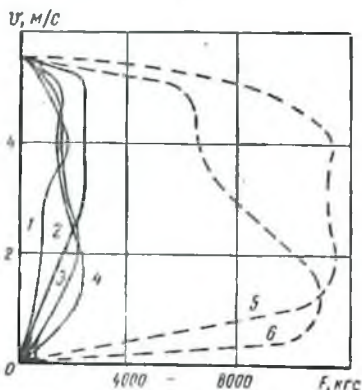


Рис. 7.11. Изменение тормозного усилия при разных токах возбуждения (двигатель 800 кВт);

1—4 — выключение первой, второй, третьей и четвертой ступеней роторного сопротивления при постоянном токе в статоре 50 А, 5—6 — выключение третьей и четвертой ступеней роторного сопротивления при постоянном токе в статоре 130 А

и цепях управления и включают амперметр в цепь обратной связи, а вольтметр — на зажимы ГДТ. Включая затем сторону напряжения 6 кВ, отмечают по приборам изменение тока возбуждения и напряжение якоря при разных токах в цепи ротора. Изменение тока в цепи ротора получают за счет включения контактора ускорения. На основании полученных данных и зная омическое сопротивление двух фаз статора, можно приблизительно определить суммарный ток возбуждения (тормозное усилие) при динамическом торможении, используя построенные ранее характеристики тормозных усилий.

Регулируя установочное сопротивление в цепи обратной связи, окончательно выбирают напряжение ГДТ при действии обратной связи. После этого снимают напряжение 6 кВ и восстанавливают цепь динамического торможения.

Выяснив величину тормозного усилия, развиваемую установкой, окончательно регулируют установочные сопротивления в режиме динамического торможения для того, чтобы создать ток возбуждения, гарантирующие тормозной момент, равный 120—130% предусмотренного проектом. Обратная связь должна быть отрегулирована так, чтобы при переходе от генераторного торможения в режим динамического торможения не произошло опрокидывания двигателя на наиболее тяжелых участках пути. Выбор ступени для подхода зависит от максимальной скорости подъемной установки и требуемого тормозного момента. Для скорости 5—7 м/с обычно ограничиваются четвертой ступенью сопротивления.

Изменение тормозного усилия при разных токах возбуждения приведено на рис. 7.11. Сравнивая кривые для разных токов возбуждения, можно прийти к выводу, что резкое разделение характеристик на неустойчивую и устойчивую части начинается при токах возбуждения, превышающих ток  $x$  двигателя. Это разделение заметно только на четвертой ступени сопротивления.

Таким образом, для предохранения двигателя от опрокидывания и создания наилучших условий перехода из генераторного в режим динамического торможения необходимо после перехода оставлять роторное сопротивление в пределах  $(0,4-0,7) R_n$ , где  $R_n$  — сопротивление фазы ротора, обеспечивающее номинальный момент в заторможенном состоянии двигателя.

Это утверждение справедливо только для схем, где отсутствует реле РТТ, управляющее включением контакторов роторного сопротивления в режиме динамического торможения в функции тока ротора и скорости. При наличии реле РТТ и правильном выборе тока возбуждения и тока обратной связи опрокидывания не будет.

Окончив регулирование сопротивлений и выбор ступени подхвата, проводят контрольное осциллографирование режимов динамического торможения при спуске груза на второй и третьей ступенях сопротивления и замедления его во время подхода к приемной площадке.

Следует отметить, что описанный метод наладки целесообразно применять на установках, предназначенных для спуска тяжелых грузов, когда имеются опасения перегреть статорную и роторную обмотки двигателя, из-за необходимости создания больших токов возбуждения и желания свести к минимуму их величину.

Для более легких режимов можно, используя данные проекта или предварительного расчета, установить несколько завышенный по сравнению с расчетным ток возбуждения статора и провести опыт динамического торможения при спуске расчетного груза на пониженной скорости (не более 2 м/с). Когда груз достигнет примерно середины ствола, начинают медленно уменьшать ток возбуждения статора (ток обратной связи должен быть отключен) и регистрируют момент начала опрокидывания двигателя (скорость начинает увеличиваться сначала медленно, а потом все быстрее). Зная ток в статоре, при котором падает опрокидывание двигателя, уже не трудно будет ввести поправку на увеличение необходимого тормозного момента в точках подхода подъемного сосуда с грузом к нижней приемной площадке и затем установить окончательную величину тока возбуждения статора без влияния обратной связи. Эта величина обычно на 30—40% выше расчетной для нижней точки ствола. Установив окончательную величину тока в статоре от независимого источника возбуждения обмотки ГДТ, восстанавливают цепь обратной связи и проводят опыт опускания расчетного груза при нормально действующей обратной связи, записывая при этом величину тока в статоре

асинхронного двигателя, когда расчетный груз опустится на глубину  $0,25H$ ;  $0,5H$ ;  $0,75H$  и во время подхода сосуда к нижней приемной площадке. Сделанные записи дают возможность оценить влияние обратной связи в разных точках ствола при расчетной скорости движения груза.

Испытания оканчиваются опытом перехода двигателя из генераторного в режим динамического торможения. Если результаты испытаний дадут уверенность в отсутствии опрокидывания двигателя в момент перехода из одного режима торможения в другой и зарегистрированная сила тока в статоре не превысит допустимой по нагреву величины, то наладку можно считать выполненной и полученные величины занести в документацию по наладке, приложив осциллограммы работы двигателя в режиме динамического торможения при спуске расчетного груза и в момент перехода из одного режима торможения в другой.

## **§ 7.8. УСЛОВИЯ РАБОТЫ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОГРАНИЧИТЕЛЯМ СКОРОСТИ**

Ограничитель скорости является основным аппаратом, обеспечивающим безопасную работу машины, поэтому к его работе и наладке следует предъявлять повышенные требования. Его роль особенно возросла в последнее время в связи с переводом большого количества подъемных машин в режим автоматического управления. На таких машинах из-за устранения машиниста от управления машиной любой недостаток ограничителя скорости или плохое качество его наладки могут привести к аварии с тяжелыми последствиями, поэтому вполне закономерен повышенный интерес к работе и конструкции ограничителя скорости, проявляемый в последнее время конструкторскими организациями и наладчиками. Об этом же свидетельствует ряд новых конструкций ограничителей скорости, появившихся за последнее время. Как будет показано далее, они не всегда удачны, что отражается на качестве работы и удобствах эксплуатации. Необходимо непрерывно работать над улучшением существующих конструкций и созданием новых, учитывая основные требования, предъявляемые к ограничителям скорости. Коротко их можно свести к следующему:

обеспечение непрерывного контроля за заданной скоростью машины при движении с номинальной скоростью и во время замедления при подходе подъемного сосуда к месту разгрузки. Первое условие (контроль за номинальной скоростью) необходимо для предотвращения как разгона двигателя от больших скоростей, так и для предохранения арматуры ствола и подъемных сосудов от повреждений из-за слишком больших скоростей. Второе условие должно обеспечить предотвращение попадания подъемного сосуда в копровые или отводные шкивы, если предохранительное

торможение возникнет во время замедления подъемного сосуда при движении его к разгрузке;

предотвращение жесткой посадки клетки на кулаки;

предотвращение ложных срабатываний ограничителя во время разгона машины, так как отключение двигателя (особенно сразу после включения очередного контактора ускорения) вызывает значительные дополнительные усилия в канатах, иногда превышающие усилия от предохранительного торможения (см. § 7.5). Следует отметить, что контроль за заданной скоростью во время разгона не только не повышает безопасность работы машины,

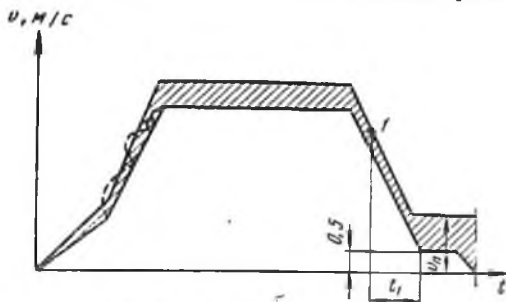


Рис. 7.12. Зона работы ограничителя скорости

а наоборот, снижает ее, так как возникает возможность ложных срабатываний ограничителя скорости, и, кроме того, снижает производительность машины. Действительно, в установках с приводом Г — Д заданное ускорение машины всегда должно быть ниже или в крайнем случае равно заданному замедлению, а в установках с асинхронными двигателями заданное ускорение всегда должно быть меньше на 30—35% заданного замедления, так как разгон после включения очередного контактора ускорения происходит по параболе и мгновенная величина скорости больше средней заданной на 20—25%. Последнее утверждение можно наглядно проиллюстрировать с помощью рис. 7.9. Как известно, заданное ускорение обеспечивается средней величиной момента, развиваемого двигателем, равного  $M_{ср} = (M_{max} - M_{min})/2$ , по  $M_{max} = (1,30 + 1,35) \times M_{ср}$ ; таким образом, мгновенное ускорение после включения контактора тоже больше заданной величины на 30—35% и соответственно увеличится мгновенная скорость.

Примерный вид кривой скорости во время разгона показан на рис. 7.12 пунктировой линией. Если мгновенная скорость окажется больше контролируемой ограничителем скорости, произойдет ложное срабатывание ограничителя с наложением предохранительного тормоза. Исходя из высказанных соображений необходимо, чтобы в схеме ограничителя скорости отсутствовал контроль за заданной скоростью. Это условие известно давно, и в существовавших

ранее конструкциях принимались специальные меры по предотвращению контроля за заданной скоростью во время разгона. Именно по этой причине отказались от схемы с одним командоаппаратом типа РОС-5914. При разработке схемы с двумя командоаппаратами предусматривались или специальные реле, или силовые выпрямители и ни в коем случае не использовались блок-контакты реверсора, так как схема хотя и получалась простой, но одновременно весьма мало надежной и не предотвращала от ложных срабатываний во время разгона. На этом недостатке пришлось остановиться так подробно лишь потому, что в новом ограничителе скорости типа ЭОС-2 вначале полностью отсутствовало выполнение приведенного выше требования, а затем завод предложил для исключения работы ЭОС во время разгона использовать блок-контакты реверсора, т. е. предложил вернуться к схеме, забракованной более 20 лет назад;

контроль скорости подхода подъемного сосуда к приемной площадке. Это требование связано с допустимой высотой переподъема, режимом работы подъема (работа по подъему — спуску грузов или проверка армпривки) и скоростью нарастания тормозного усилия при предохранительном торможении. Более подробно этот вопрос рассмотрен в [29, 30], и еще раз к нему вернемся при выяснении условий работы ограничителя скорости во всем периоде замедления машины.

Перечисленные выше требования только частично отражены в ПБ [15]. Предполагая, что действующие требования общепизвестны, целесообразно подробнее остановиться только на вопросах, не упомянутых в Правилах или отмеченных недостаточно полно.

Правила умалчивают, как должен контролировать ограничитель скорости период замедления. Совершенно не оговаривается время срабатывания самого ограничителя (во всяком случае, это время не увязано со скоростью подхода подъемного сосуда к приемной площадке, временем срабатывания тормозной системы, величиной пути переподъема и минимально допустимой величиной замедления во время предохранительного торможения при спуске груза). Как зависят эти величины друг от друга, указано в [29, 30]. Остается неясной настройка ограничителя при движении сосуда в кривых во время разгона и замедления.

Особенно опасны случаи работы многоканатных машин после наложения предохранительного торможения. При этом вследствие проскальзывания каната исчезает однозначность положения подъемного сосуда в стволе с показаниями указателя глубины и работой предохранительных устройств, связанных с канатоведущим шкивом.

На основании приведенных соображений необходимо уточнить некоторые условия применения ограничителя скорости и обратить особое внимание на надежность его работы.

Если к ограничителю скорости применить требование ПБ, согласно которому всякий предохранительный аппарат, разработанный для какой-нибудь машины, должен обеспечить полную безопасность работы с минимальной потерей производительности, можно получить зону работы ограничителя за весь цикл работы подъема, используя нормы, приведенные в ПБ. Верхней границей ее, начиная от момента пуска и до входа подъемного сосуда в кривые, является скорость машины, превышающая заданную на 15% для любого положения сосуда в стволе. Исключение составляет период разгона от выхода подъемного сосуда из кривых до достижения полной скорости. На этом участке фактическую скорость контролировать целесообразно (см. рис. 7.12).

Контролировать величину пути замедления при срабатывании ограничителя скорости до тех пор, пока сосуд во время разгона движется в кривых, а также при движении с полной скоростью после окончания разгона не требуется, так как в этих случаях сосуд не может попасть в копровые или отводные шкивы, но контроль величины скорости необходим. Во время движения сосуда в кривых увеличение скорости выше допустимых пределов вызовет удары с последующим выходом из строя роликов, направляющих и т. д. В существующих конструкциях ограничителей контроль на этом отрезке пути отсутствует, и получить его без значительного усложнения схемы довольно затруднительно, но работать в этом направлении, безусловно, необходимо, особенно для установок, переведенных в режим автоматического управления. Контроль при движении сосуда с полной скоростью, предусмотренный в ПБ, имеется во всех конструкциях ограничителей и никаких трудностей для выполнения не представляет, его необходимость была пояснена ранее.

Более внимательно следует рассмотреть режимы замедления и движения в кривых перед остановкой на приемной площадке. При замедлении для любой точки диаграммы должно обеспечиваться неравенство, гарантирующее остановку сосуда до попадания верхнего жбмка в копровой или отводной шкив:

$$\frac{v_1 + v_{кр}}{2} t_1 + S_{кр} + S_n > 1,15 v_1 (t_x + t_o) + \frac{(1,15 v_1)^2}{2 a_n} \quad (7.52)$$

где  $v_1$  — заданная скорость по тахограмме для точки 1 (см. рис. 7.12), м/с;  $t_1$  — время движения от этой точки до момента входа в кривые (принимается по тахограмме или из проекта), с;  $S_{кр}$  — путь в кривых, м;  $S_n$  — путь переподъема, м;  $t_x$  — время от момента подачи импульса на начало предохранительного торможения до возникновения тормозного усилия, обеспечивающего минимальное замедление. Иными словами, время движения машины с почти постоянной скоростью, с;  $t_n$  — собственное время работы ограничителя скорости, с;  $a_n$  — минимальное замедление, предусмотренное в ПБ для предохранительного торможения при спуске груза (1,5 м/с, м/с<sup>2</sup>).

Прежде чем рассматривать неравенство (7.52), необходимо коротко остановиться на некоторых составляющих, входящих в это неравенство:

минимальные пути движения в кривых и переподема имеют склиповые подъемные установки, у них  $S_{кр} = 1,5$  м,  $S_n = 2,5$  м. Очевидно, следует рассматривать именно этот случай, так как остальные будут создавать более благоприятные условия для работы ограничителя скорости;

скорость в точке 1

$$v_1 = at_1 + v_{кр} \quad (7.53)$$

где  $a$  — заданное замедление,  $\text{м/с}^2$ ;  $v_{кр}$  — скорость в кривых, обычно равна  $0,5$ — $1,0$   $\text{м/с}$ ; — собственное время работы ограничителя скорости, можно принимать в пределах  $0,1$ — $0,15$  с (из опыта).

Несколько сложнее определять время движения с почти постоянной скоростью, так как оно зависит от большого количества факторов. Конструктивные особенности аппаратов площадки управления определяют скорость нарастания тормозного усилия; масса тормозной системы и величина первой ступени влияют на время х. х. и, наконец, величина конечного груза и масса всех движущихся частей подъемной установки, приведенная к ободу навивки, до некоторой степени определяют момент начала устойчивого замедления, т. е. переход от почти постоянной скорости к скорости со средним замедлением во время предохранительного торможения, так называемый второй участок предохранительного замедления [29]. Имеются и некоторые второстепенные факторы.

Таким образом, в каждом конкретном случае время движения машины с почти постоянной скоростью имеет индивидуальную величину. Однако в ПБ имеются нормы, с помощью которых может быть определена граница, за которую это время не должно выходить, иными словами можно определить довольно достоверно максимально допустимое время движения машины с почти постоянной скоростью. Действительно, можно принять время х. х. тормозной системы равным  $0,5$  с (норма ПБ), тогда время нарастания тормозного усилия от момента соприкосновения тормозных колодок с ободом и до создания усилия, равного расчетной конечной нагрузке, будет равно  $0,3$  с (норма ПБ). Как было показано в других работах [29, 30], для большинства тормозных систем характер нарастания тормозного усилия близок к экспоненте. Если принять это условие, то за одну постоянную времени кривой нарастания тормозного усилия величина тормозного усилия достигнет  $0,632$  максимального значения тормозного усилия, т. е. станет примерно равной двукратной величине проектной конечной нагрузки. За следующую постоянную времени конечное усилие возрастет всего на  $0,233$  максимальной величины, а затем будет увеличиваться еще медленнее.

Таким образом, можно считать, что перелом в кривой скорости, т. е. переход от почти постоянной скорости к среднему замедлению, наступит по истечении одной постоянной времени нарастания тормозного усилия. Если дополнительно принять, что за первую постоянную времени тормозное усилие увеличивается почти линейно, то, с весьма малой долей ошибки, можно считать, что время от момента соприкосновения колодок с ободом и до перелома в кривой скорости будет равно 0,7 с, а полное время движения машины с почти постоянной скоростью 1,2 с (следует помнить, что рассматривается случай возникновения предохранительного торможения при спуске расчетного груза в момент подхода сосуда к нижней приемной площадке, т. е. наиболее тяжелый случай предохранительного торможения с точки зрения создания безопасных условий работы).

Используя все перечисленные выше соображения и приведенные величины, а также считая  $v_{кр} = 1$  м/с, приведем неравенство (7.52) к виду

$$t_1^2 > \frac{4,76at_1 - 2t_1 - 4,2}{a(1 - 0,88a)}. \quad (7.54)$$

Следует помнить, что проверять эту формулу с помощью размерностей нельзя, так как подставлены некоторые числовые значения скорости и времени.

Для определенного случая, когда путь замедления при предохранительном торможении будет равен всему оставшемуся пути, неравенство (7.54) превратится в обычное квадратное уравнение, с помощью которого можно будет найти зависимость между временем замедления и заданной величиной замедления. Решая это уравнение, получим

$$t_1 = \frac{2,38a - 1}{a(1 - 0,88a)} \pm \sqrt{\frac{(2,38a - 1)^2}{a^2(1 - 0,88a)^2} - 4,2}.$$

Для того чтобы путь замедления при предохранительном торможении был равен оставшемуся расчетному пути, необходимо приравнять пулю подкоренное выражение. Выполнив это условие и рассчитав величину замедления, найдем  $a = 0,65$  м/с<sup>2</sup>.

При больших величинах заданного замедления расчетного пути замедления не хватит для предохранительного торможения, и подъемный сосуд может оказаться в шквях.

Приводя эти вычисления, следует подчеркнуть еще раз, что рассматривались самые невыгодные условия работы для минимального пути переподъема и наибольшей допустимой величины движения машины с почти постоянной скоростью. Однако эти величины реальные, и их следует иметь в виду при палатке ограничителей скорости. Кроме того, необходимо обратить внимание и еще на несколько особенностей при расчете резервного пути замедления на практике. Выполняя эти расчеты, палатка обычно руководствуется не минимальной величиной замедления во время

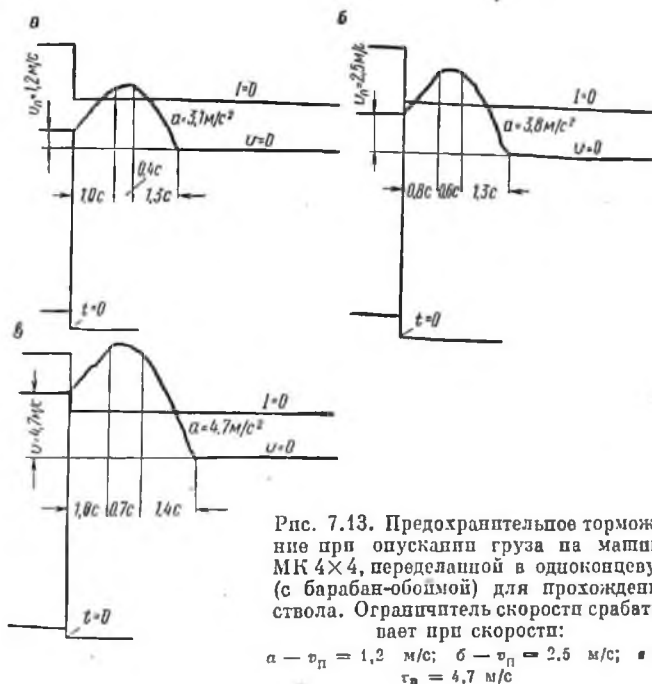
предохранительного торможения, предусмотренной в ПБ, а фактической, полученной из осциллограммы, а она очень часто бывает больше  $1,5 \text{ м/с}^2$ . Такое отступление, с нашей точки зрения, недопустимо, так как осциллограммы из осторожности никогда не снимают для самого худшего случая, и в действительности палатник не знает наименьшей фактической величины замедления, причем иногда из-за ухудшения коэффициента трения эта величина может стать близкой к  $1,5 \text{ м/с}^2$  или даже меньше. То же самое следует сказать и о времени движения с почти постоянной скоростью. На практике оно иногда бывает меньше 1 с, хотя зарегистрированы случаи увеличения его даже до 2 с, поэтому, анализируя полученную осциллограмму предохранительного торможения при спуске груза, обязательно необходимо учитывать условия, при которых она была получена, и по возможности выяснить данные для наихудшего возможного случая предохранительного торможения. Без такой оценки невозможно правильно выбрать допустимую величину замедления при нормальном спуске груза и обеспечить безопасные условия эксплуатации соответствующей настройкой ограничителя скорости.

Очень большие трудности возникают при наладке ограничителей скорости одноконцевых подъемных установок с большими концевыми нагрузками и сравнительно малыми массами движущихся частей. Ярким примером такой установки служит использование многоканатной подъемной машины для прохождения ствола. Такая машина с помощью барабан-обоймы на период прохождения ствола превращается в одноконцевую, у которой ускорение свободного выбега часто находится в пределах  $3-4 \text{ м/с}^2$ . При наладке подобной машины сразу возникает две трудности: необходимость намеренно уменьшить скорость нарастания тормозного момента, даже отступая от нормы ПБ, так как в противном случае машину нельзя использовать по допустимому максимуму концевой нагрузки [30] и одновременно обеспечить безопасные условия эксплуатации во время подъема и спуска груза; не допустить слишком большого увеличения скорости с момента отключения двигателя (начало предохранительного торможения) и до создания тормозного усилия, обеспечивающего начало нормального замедления. Максимум скорости в этот промежуток времени зависит от величины ускорения свободного выбега и скорости нарастания тормозного усилия.

Примеры изменения скорости за этот промежуток времени показаны на рис. 7.13. Из осциллограмм видно, что превышение скорости остается постоянным после отключения двигателя независимо от того, при какой скорости произошло отключение. В рассматриваемом примере оно составило  $2,8 \text{ м/с}$ , т. е. весьма значительную величину, из-за чего возникла необходимость учитывать дополнительный путь, который проходит подъемный сосуд за время превышения скорости. Настраивая ограничитель скорости и рассчитывая профиль, обязательно приходится учитывать

и этот путь. Следует отметить, что на рис. 7.13 приведен типовой случай, на практике были зарегистрированы случаи с превышением скорости более 3 м.

Настраивая ограничители скорости на подобных установках, приходится каждый раз вести специальные расчеты и получать от Госгортехнадзора разрешение на некоторые отступления от ПБ,



например: при настройке установок с приводом Г — Д — разрешение на отсутствие отключения цепи главного тока двигателя постоянного тока во время предохранительного торможения, при настройке установок с асинхронными двигателями — разрешение на запаздывание отключения подъемного двигателя на 0,5—0,7 с при предохранительном торможении, возникшем во время спуска груза, и т. д.

Следует отметить, что на подобных установках наиболее опасным следует считать случай предохранительного торможения при подходе подъемного сосуда к забою. Этот вариант необходимо проверять с учетом внезапного отключения напряжения на подстанции, питающей установку.

Скорость подхода подъемного сосуда к забою, контролируемая ограничителем скорости, должна быть такой, чтобы исключалась

жесткая посадка бадьи на забой при внезапном исчезновении напряжения 6 кВ.

Подход подъемного сосуда к верхней приемной площадке и предотвращение жесткой посадки его на почву или посадочные брусья настолько важны, что их необходимо рассмотреть особо. Крптическими можно считать движения в крпвых, когда ограничитель скорости срабатывает в момент прохода подъемного сосуда через приемную площадку или вообще не срабатывает, а остановка происходит из-за отключения концевого выключателя. Для них справедливы неравенства:

а) отключение ограничителем скорости

$$S_n \geq v_n(t_x + t_o) + \frac{v_n^2}{2a}; \quad (7.55)$$

б) отключение конечным выключателем

$$S_n - 0,5 \geq v'_n(t_x + t_o) + \frac{(v'_n)^2}{2a}, \quad (7.56)$$

где  $v_n$  — скорость, при которой срабатывает ограничитель в момент прохода подъемного сосуда через приемную площадку. Для действующих машин  $v_n = 2$  м/с<sup>2</sup>, для новых  $v_n = 1,5$  м/с<sup>2</sup>;  $v'_n$  — фактическая скорость подъемной установки.

Обычно  $v_n > v'_n$ , но в пределе эти величины могут быть равны, тогда наиболее опасным будет случай, описываемый неравенством (7.56). Нетрудно убедиться, что для скиповых подъемных установок выполнить неравенство (7.56) можно только тогда, когда  $v'_n < 1,5$  м/с. Таким образом, учитывая требования ПБ и время срабатывания предохранительного тормоза при спуске груза (этот вариант нельзя исключать и для скиповых установок), ограничитель скорости необходимо настраивать на меньшие величины.

Если считать нормальной для автоматизированных подъемных установок скорость движения в крпвых 0,5—0,8 м/с, то ясно, что нет необходимости настраивать ограничитель скорости на 1,5 м/с. Желательность снижения скорости срабатывания ограничителя определяется и другими соображениями, прямо не относящимися к установке, когда она работает в автоматическом режиме. Следует иметь в виду, что для любой скиповой установки должны предусматриваться режимы осмотра и ремонта стволов. Люлька для осмотра устанавливается на верхней раме скипа, а зонты, прикрывающий людей, находится выше верхнего жимка минимум на 1 м. Таким образом, фактический путь переподъема  $S_{н.ф}$  становится значительно меньше. Даже без учета работы концевого выключателя он будет составлять 1,5 м. Используя формулу

$$v_n = -a(t_x + t_o) + \sqrt{a^2(t_x + t_o)^2 + 2aS_{н.ф}}, \quad (7.57)$$

найдем, что  $v_n = 1,1$  м/с.

Таким образом, для автоматизированных подъемных установок, обеспечивающих хорошее поддержание скорости в период дотягивания, ограничитель скорости целесообразно настраивать на скорость 1,0—1,1 м/с. При ручном управлении машинист не сможет точно поддерживать заданную скорость, поэтому ограничитель лучше настраивать на предельную величину  $v_n = 1,5$  м/с, снижая ее до 1 м/с для случаев осмотра и ремонта ствола.

Из приведенных выше соображений следует, что для большинства скиповых подъемных установок настройка ограничителей скорости с учетом спуска проектного груза представляет значительные трудности и может вызвать уменьшение производительности подъемной установки из-за ограничения величины замедления и скорости дотягивания. Если же рассматривать только режимы подъема груза, то можно обеспечить безопасную работу даже при заданном замедлении 1 м/с<sup>2</sup>.

### § 7.9. СХЕМА ОГРАНИЧИТЕЛЯ СКОРОСТИ С КОМАНДОАППАРАТОМ РОС

Во время равномерного хода сопротивление командоаппарата не меняется. При замедлении профиль, укрепленный на ретардирующем диске, воздействует на кулачок, изменяя сопротивление командоаппарата по заданному закону. Ток в цепи РОС

$$i = \frac{U_T}{kR}, \quad (7.58)$$

где  $U_T$  — мгновенное значение напряжения тахогенератора, В;  $k$  — коэффициент, определяющий закон изменения сопротивления в цепи РОС во время замедления;  $R$  — полное сопротивление цепи тахогенератора, Ом.

Если фактическая скорость станет выше заданной, ток в цепи РОС возрастет и реле своими контактами разомкнет цепь защиты, вызвав остановку подъемной машины. По ПБ скорость не может превышать нормальную более чем на 15%. На ток, пропорциональный такой скорости, и настраивают реле РОС.

Раньше управление командоаппаратами осуществлялось реле РНВ, РНН и РС. Первые два реле, работая через полупроводниковые выпрямители, обеспечивают требуемую избирательность командоаппаратов, а реле РС вводит в цепь реле РНВ и РНН добавочное сопротивление, так как их катушки рассчитаны на напряжение 55 В.

Опыт наладки показал, что напряжение включения реле РНН при наличии полупроводниковых выпрямителей (с учетом явления старения) находится в пределах 25—35 В. Это один из недостатков схемы, так как при высоких скоростях машин, достигающих 12—15 м/с, работа ограничителя при подходе подъемного сосуда к приемной площадке становится нечеткой, а если в начале замедления была остановка машины, то реле может вообще не

включиться и работа ограничителя скорости окажется нарушенной. По этим соображениям описанная схема была заменена более надежной и простой. В новой схеме избирательность работы командоаппаратов РОС обеспечивается кремниевыми выпрямителями (рис. 7.14), включенными последовательно с командоаппаратами.

Предварительная настройка ограничителя скорости. Настройка ограничителя скорости делится на предварительную и окончательную. К предварительной относятся все работы, связанные с построением профиля:

1) проверка разбивки сопротивлений в командоаппарате по ступеням. В заводском исполнении колебания величины сопротивления на ступень достигают 20%.

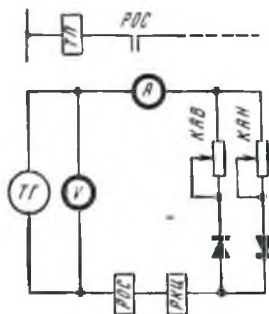


Рис. 7.14. Схема ограничителя скорости с командоаппаратом РОС<sub>1</sub>

Допустимыми считаются колебания не выше 5%. Особенно тщательно нужно следить за разбивкой последних ступеней, работающих при подходе, так как недоброкачественная разбивка может вызвать ложные срабатывания защиты;

2) измерение мостом сопротивления цепи тахогенератора:  $r$  — сопротивление цепи тахогенератора при полностью выведенном командоаппарате,  $R$  — при введенном командоаппарате;  $r$  — является суммой сопротивлений якоря тахогенератора, соединительных проводов, катушек РОС, РКЦ (см. рис. 7.14) и невыключаемой части командоаппарата.

Для определения  $R$  к этой величине надо прибавить регулируемую часть сопротивления командоаппарата;

3) проверка установочных размеров командоаппаратов по отношению к ретардирующим дискам. Установку командоаппаратов выполняют по чертежу, выдаваемому проектной или палладочной организацией, так как от места установки и радиуса рычага командоаппарата зависит форма профиля;

4) определение по передаточному отношению индикатора масштаба ретардирующего диска (число миллиметров окружности диска на 1 м ствола). Если передаточное отношение неизвестно, то индикатор отсоединяют от приводного вала и делают девять — двенадцать полных оборотов, одновременно отмечая путь  $S_d$ , пройденный ретардирующим диском. Зная передаточное отношение от барабана машины к валу индикатора, можно вычислить масштаб

$$m' = \frac{S_d i_0}{n_0 \pi D}, \quad (7.59)$$

где  $i_0$  — передаточное число от вала барабана к валу индикатора; для машин НКМЗ  $i_0 = 3$ ;  $D$  — диаметр барабана;  $n_0$  — число сделанных оборотов валом индикатора.

Девять — двенадцать оборотов приняты для того, чтобы свести к минимуму влияние зазора в передаточном отношении к ретардирующему диску и самого диска, иногда плохо посаженного на вал. Для контроля измерения повторяют два раза;

5) получение из проекта максимальных скорости и пути замедления.

Построение профиля, определяющего заданный закон замедления, осуществляют графо-аналитическим путем. На плотный лист бумаги в масштабе 1:1 наносят дугу ретардирующего диска РД (рис. 7.15). Точка пересечения радиуса, проходящего

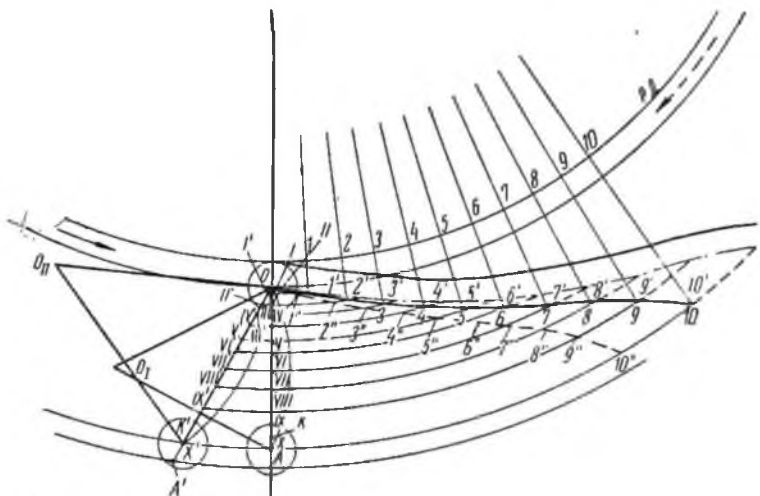


Рис. 7.15. Построение профиля ограничителя скорости

через центр ролика командоаппарата при полностью введенном сопротивлении, соответствует началу замедления; от нее откладывают полный путь замедления и делят его на десять равных частей.

Командоаппарат (КА) относительно ретардирующего диска можно расположить по-разному: а) ось ролика КА в начальном и конечном положениях рычага находится на одном радиусе (точки  $O$  и  $X$ ). Такое расположение принято в аппаратах АКХ. Ось рычага находится в точке  $O_1$ ; б) ось ролика в начальном и конечном положениях рычага находится на разных радиусах (точки  $O$  и  $X^1$ ). Ось рычага находится в точке  $O_{11}$ .

Приведенные варианты существенно влияют на форму профиля. В первом случае профиль имеет максимальную высоту и встречает ролик командоаппарата почти на одном и том же радиусе, во втором — точка встречи будет скользить по образующей ретардирующего диска. Если направление движения диска

совпадает с направлением движения оси ролика, профиль уменьшится по высоте и укоротится (штриховая стрелка, показывающая направление движения профиля вместе с ретардирующим диском, перемещение ролика от точки  $O$  до точки  $X'$  и форму профиля — штриховая линия с цифрами от  $1''$  до  $10''$ ). При встречном движении профиля и оси ролика профиль уменьшится по высоте и удлинится сплошная стрелка, показывающая направление движения профиля вместе с диском, движение ролика  $KA$  от точки  $O$  до  $X'$  и форму профиля (штрихпунктирная линия с цифрами от  $1'$  до  $10'$ ).

Профиль, соответствующий случаю встречи его с роликом на одном и том же радиусе, показан сплошной линией с цифрами 1—10.

При расположении оси рычага  $KA$  в точке  $O_1$  расстояние  $O-X$  соответствует сопротивлению командоаппарата без выключаемой части. Полному сопротивлению  $R$  пропорционален отрезок

$$OA = \frac{R}{R-r} OX. \quad (7.60)$$

Сопротивление цепи тахогенератора при изменении скорости от нуля до максимума должно изменяться в таких же пределах. Связь между ними определится формулой

$$kR = \frac{v}{v_0} (R-r) + r. \quad (7.61)$$

Зависимость между скоростью и путем замедления

$$v = v_0 \sqrt{1 - \frac{x}{h}}, \quad (7.62)$$

где  $v$  — промежуточная скорость, м/с;  $v_0$  — наибольшая скорость, м/с;  $x$  — промежуточный путь замедления, м;  $h$  — полный путь замедления, м.

Используя формулы (7.61) и (7.62), можно найти закон изменения сопротивления командоаппарата в функции пути замедления

$$kR = (R-r) \sqrt{1 - \frac{x}{h}} + r. \quad (7.63)$$

Вычисленные величины сопротивлений откладывают от точки  $A$ , получая точку  $I$  для  $0,1h$ ,  $II$  — для  $0,2h$  и т. д. Затем из центра ретардирующего диска через точки  $I$ ,  $II$ ,  $III$  и т. д. проводят дуги на всю длину пути замедления.

Если соединить пересечения дуг со своими радиусами (точки 1, 2, ..., 10) плавной кривой, получим форму профиля при расположении оси ролика на одном радиусе ретардирующего диска во время поворота рычага  $KA$ . Профиль, будучи плавным в начале

замедления, резко загибается вверх в конце, когда контроль должен быть особенно точен.

Следует иметь в виду, что изгиб будет тем больше, чем меньше отношение пути замедления к глубине шахты, иными словами, чем меньше масштаб на ретардирующем диске.

Масштаб  $OA$  одинаков для любых скоростей (если рассчитывать масштаб  $Ом/мм$ ), но высота профиля различна, так как переход профиля в дугу окружности осуществляется при скорости, близкой к  $1,5$  м/с (отрезок  $AK$ ), а масштаб профиля, выраженный в  $м/мм$ , всегда различен и зависит от максимальной скорости.

Из приведенного описания метода построения профиля можно сделать вывод, что чем глубже шахта и чем выше скорость подъемного сосуда, тем меньше точность работы ограничителя скорости. Так как, во-первых, с увеличением глубины шахты уменьшается длина профиля и крутизна подъема кривой профиля становится все больше по мере приближения сосуда к концу замедления, а во-вторых, по мере увеличения максимальной скорости все большее влияние начинает приобретать ступенчатое выключение сопротивления  $KA$ , т. е. в конце замедления на сравнительно небольшом отрезке пути происходит значительное изменение сопротивления  $KA$  и небольшая ошибка в форме профиля может привести к значительным отклонениям от заданной скорости.

Для частичного исправления этого недостатка целесообразно скорректировать форму профиля, сделав ее более пологой. С этой целью изменяют расположение  $KA$  относительно ретардирующего диска и удлиняют рычаг (точка  $O_{II}$  оси рычага  $KA$ ). В этом случае, как указывалось ранее, ось ролика, проходит через точки  $O, I' \div X'$ . Для получения требуемого закона замедления к прежнему профилю, показанному сплошной линией, в каждой точке добавляют соответствующие отрезки  $I-I', 2-2'$ , равные отрезкам  $I-I', II-II'$  и т. д. Новый профиль, оставаясь прежним по высоте (из-за удлинения радиуса рычага), получает в конце пути наибольшие приращения, становясь очень плавным и удобным для контроля скорости (кривая  $O-10'$ ). Злоупотреблять увеличением высоты профиля из-за удлинения рычага  $KA$  не имеет смысла, так как число ступеней сопротивления в  $KA$  остается прежним, и величина мертвой зоны будет зависеть исключительно от отношения  $\Delta v / \Delta h_n$ , где  $\Delta v$  — приращение скорости на одну ступень  $KA$ ,  $\Delta h_n$  — приращение высоты профиля на одну ступень  $KA$ . Обычно длина рычага должна быть не более  $180$  мм, и вообще прибегать к удлинению рычага следует только в исключительных случаях, когда становится ясным, что без этого мероприятия небольшие ошибки в построении профиля могут вызвать значительную неточность в работе ограничителя скорости при подходе подъемного сосуда к приемной площадке.

Полученные кривые, изображая форму профиля, в действительности соответствуют пути оси ролика. Если из точек  $O-10'$

провести окружности радиусом, равным радиусу ролика, и соединить их плавной кривой, получим истинную форму профиля. Высота профиля определяется точкой  $K$ , найденной из условия отключения подъемного двигателя при заданной скорости подхода подъемного сосуда. При определении скорости подхода следует руководствоваться соображениями, изложенными в § 7.8, несколько уменьшая полученный результат (в пределах 10%) из-за возможного разброса токов отключения реле РОС, неточностей в форме профиля, колебаний напряжения в цепи обмотки возбуждения тахогенератора, изменения сопротивления обмотки возбуждения тахогенератора из-за колебаний ее температуры.

**Окончательная настройка ограничителя скорости.** При окончательной настройке:

1) переделывают схему соединения полюсов тахогенератора. При нормальном соединении полюсов ток возбуждения тахогенератора близок к номинальному и нагрев меди достигает 60—70° С. На практике бывают случаи длительной остановки машины с отключением обмотки возбуждения. В зимних условиях они вызовут значительные (до 50° С) колебания температуры обмотки возбуждения. Учитывая температурный коэффициент сопротивления меди, равный 0,004 Ом/°С, получим, что сопротивление обмотки изменится на 20% и сделает работу ограничителя скорости неправильной. Для уменьшения ошибок от колебания температуры необходимо пересоединить полюса, введя в цепь дополнительное сопротивление с большим температурным коэффициентом. При четырехполюсной машине переход от последовательного соединения полюсов к параллельному уменьшит максимальную ошибку от температурных влияний в четыре раза;

2) проверяют измерительную аппаратуру и тахогенератор. Контакты реле РОС и РКЦ шуптируют переключками, в цепь реле РОС включают контрольный амперметр, а на зажимы тахогенератора — контрольный вольтметр класса 0,5. Включая подъемную машину на максимальную скорость сначала в одну, а затем в другую сторону, записывают показания постоянно включенных и контрольных приборов. Сравнивая их, проверяют правильность работы постоянных приборов. Ошибки должны соответствовать классу приборов, в противном случае необходим ремонт или замена их.

Контрольные приборы при вращении машины в разные стороны должны давать одинаковые показания. Если стрелка вольтметра отклоняется по-разному, проверяют положение щеточного аппарата относительно нейтрали и при необходимости регулируют его, добиваясь одинаковых отклонений. Разницу в показаниях амперметра исправляют регулировкой невыключаемой части сопротивления КА, учитывая, что напряжение тахогенератора при подходе обоих судов остается постоянным и равным одной и той же величине и что сопротивления  $R$  обоих командоаппаратов равны;

3) снимают мостик, соединяющий две половины сопротивления командоаппарата, для того чтобы ухудшение контакта под щеткой КА или выпадание скользящего контакта вызвали отключение РКЦ;

4) настраивают реле РОС на отключение при токе  $1,15 I_n$ , отмечая показания амперметра при максимальной скорости. Аналогичным образом настраивают реле РКЦ на ток  $0,8 I_n$ . На стекле амперметра наносят красную черту, соответствующую току срабатывания реле РОС, а на вольтметре такой же чертой отмечают его показания при полной скорости и вращении машины в обе стороны;

5) проверяют правильность работы ограничителя скорости:

а) предварительно на ретардирующем диске отмечают место, соответствующее середине ствола, устанавливают на нем профиль и, разгоняя машину в обе стороны, дают возможность сработать РОС. Включают подъемную машину вторично и медленно продолжают движение, пока ролик не получит максимальное отклонение, а затем снова ускоряют ее, отмечая величину скорости в момент срабатывания РОС;

б) после предварительных испытаний устанавливают профили на место и повторяют испытания, осциллографируя скорость и ток тормозного магнита для случаев: сверхскорости ( $1,15 v_n$ ), максимальной скорости и скорости подхода к приемной площадке;

б) для сохранения уверенности в правильности работы ограничителя скорости ежедневно проверяют по контрольным рискам:

а) показания вольтметра при максимальной скорости;

б) показания амперметра для случая, когда сопротивление КА выведено полностью, а машину, остановленную перед этим в середине ствола, начинают медленно разгонять. Отключение должно произойти, когда стрелка амперметра приблизится к контрольной риске на стекле. Проводя этот опыт, следует помнить, что индуктивность в цепи якоря может исказить показания, если разгон будет проходить интенсивно, поэтому следует выполнять его очень медленно.

## § 7.10. НАЛАДКА ОГРАНИЧИТЕЛЯ ЭОС-2

Ограничитель выпущен как замена электрического ограничителя с командоаппаратами РОС-5914 и предназначен для использования на любой подъемной установке. Оставляя в стороне описание конструкции, уже известное в литературе [20] и др., остановимся только на методах его наладки. Схема ограничителя показана на рис. 7.16. В качестве датчиков заданной скорости в нем используются сельсинны, обеспечивающие синусоидальную зависимость скорости от пройденного пути. Для приближения к проектным требованиям на большинстве действующих и новых установок эта зависимость заменена кусочно-линейной

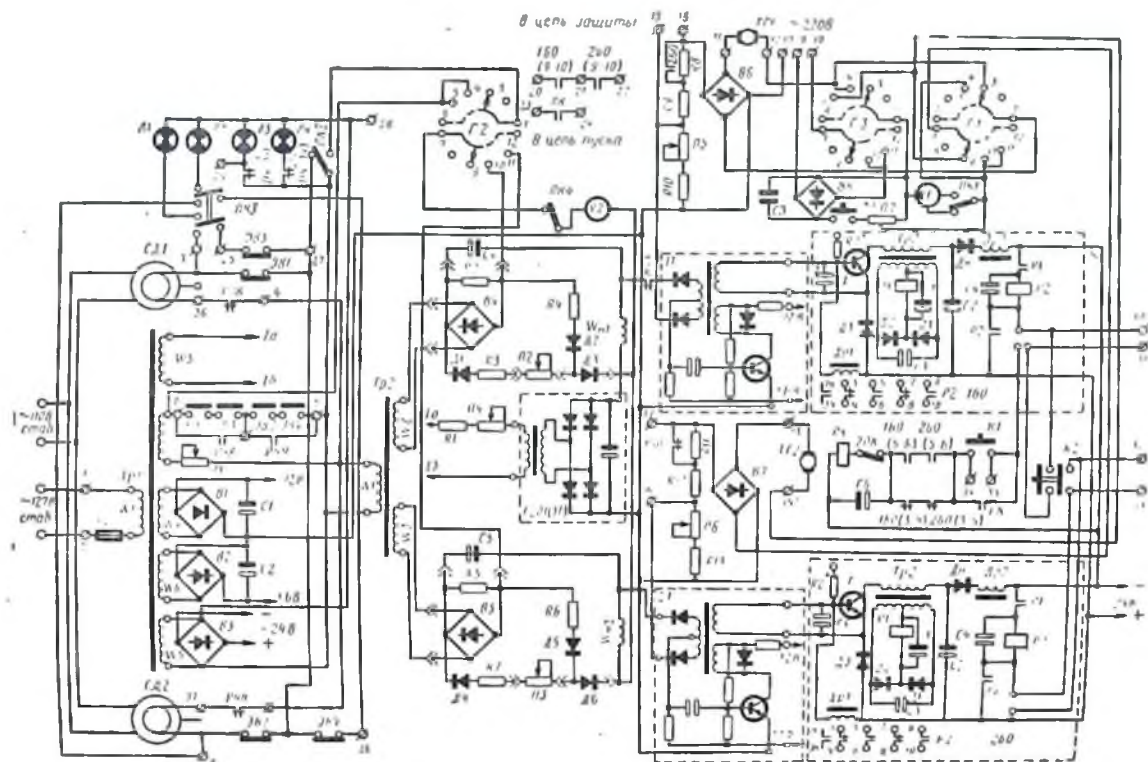


Рис. 7.16. Ограничитель скорости ЗОС-2.

аппроксимацией, выполняемой с помощью диодно-функциональных преобразователей (ДФП).

Ограничителем осуществляется контроль скорости при разгоне, во время равномерного хода и в периоде замедления. Исключить контроль разгона частично можно с помощью блок-контактов *РНН* и *РНВ*, однако это весьма несовершенный способ, о чем уже упоминалось ранее, и лучше их вообще исключить из работы, так как с введением контактов *РНН* и *РНВ* работа ограничителя становится мало надежной. Контроль полной скорости и скорости подхода к приемной площадке выполняется специальными обмотками трансформатора *Тр1*.

Для повышения надежности в работе схема ЭОС-2 имеет две совершенно одинаковые параллельные ветви, взаимный контроль за их работой осуществляется контактом магнитоуправляющего устройства (*МУН*-контакт).

Для облегчения контроля за качеством паладки в схеме предусмотрено устройство для имитирования скорости срабатывания ограничителя в любой точке ствола. Важность такого устройства весьма велика, так как заданная скорость срабатывания отличается от проектной благодаря тому, что в качестве задающих датчиков использованы сельспшны. Роль этого устройства более подробно будет пояснена при описании методов паладки ограничителя и проверки его возможностей по обеспечению безаварийной работы подъемной установки.

Существенным дополнением ограничителя ЭОС-2 является реле контроля вращения *РКВ*, с помощью которого контролируется целостность кинематической цепи от вала барабана (канатоведущего шкива) до блоков сельспшнов-датчиков, установленных в АЗК. При отсутствии подобного контроля не может быть и речи о надежной работе ограничителя скорости. Таким образом, работу и наладку реле *РКВ* необходимо рассматривать совместно с ЭОС-2, и только для удобства изложения опишем их работу и методы наладки последовательно.

Наладка ограничителя скорости включает в себя: проверку и регулировку отдельных узлов ограничителя; расчет и построение проектной диаграммы скорости в функции пути, затем защитной диаграммы, т. е. кривой, показывающей величину скорости, при которой должен сработать ограничитель, если произошло нарушение режима работы, и, наконец, критической кривой скорости, показывающей, при какой скорости при данном положении сосуда должен сработать ограничитель, чтобы сосуд, пройдя оставшийся путь и путь переподъема, все же не нарушил работу отдельных узлов машины.

Построение кривой защитной диаграммы и критической кривой скорости нужно для правильной настройки ограничителя, поэтому целесообразно дальнейшее изложение начать с них.

Как обычно, построение начинается с расчетной диаграммы, выполняется оно в координатах скорость — путь. Для принятых

в проектах тахограмм заданное замедление всегда постоянно, поэтому кривая пути в упомянутых координатах будет представлять отрезком параболы, определяемой по формулам

$$v = \sqrt{2ax_p}; \quad v_1 = \sqrt{2a(x_p - h_k) - v_n^2}, \quad (7.64)$$

где  $v$ ,  $v_1$  — скорость подъемного сосуда при замедлении соответственно для простых клетей и скипов;  $a$  — заданное замедление (из проекта), м/с<sup>2</sup>;  $x_p$  — расчетный (из проекта) путь замедления, исчисляемый от начала замедления до остановки сосуда при разгрузке, м;  $h_k$  — путь в кривых (для скиповых подъемных установок и опрокидных клетей), м;  $v_n$  — скорость подхода подъемного сосуда к кривым и скорость движения в кривых, м/с.

Для построения защитной кривой скорости, т. е. скорости, при которой должен срабатывать ограничитель, можно использовать формулы:

$$v = \sqrt{2a_3(x_p - h_k)^2 - v_n^2} \quad (7.65)$$

при  $h_k = 0$ ,  $a_3 = \alpha a$ ; при  $h_k \neq 0$

$$a_3 = a \frac{(\alpha v_0)^2 - v_n^2}{v_0^2 - v_n^2}, \quad (7.66)$$

где  $\alpha$  — коэффициент, учитывающий превышение скорости при срабатывании ограничителя по отношению к номинальной скорости машины  $v_0$ , обычно  $\alpha = 1,15$ .

Кривая, полученная с помощью формулы (7.65), не соответствует фактической, так как аппроксимированная синусоида не может всегда быть близкой к отрезку параболы. Расхождение особенно заметно для случаев настройки ЭОС-2 на подъемных машинах с большими скоростями движения или с большим путем замедления, когда по условиям работы машины в проекте выбирают малую величину замедления, увеличивая тем самым путь замедления. Следует заметить, что в инструкции завода, прилагаемой к каждому новому экземпляру ограничителя, на такую возможность прямо не указывается, а наоборот, отмечается, что кривая срабатывания соответствует расчетной.

Для подтверждения наших замечаний остановимся на некоторых этапах наладки, предполагая, что с общепринятым методом наладчик ознакомился по инструкции завода (на случай отсутствия инструкции порядок наладки приведен в приложении II):

устанавливая верхний сосуд в точку, соответствующую началу замедления, регулируют путевой выключатель ЭВ-1 или ЭВ-2 (см. рис. 7.16) на подачу сигнала к началу замедления;

с помощью резистора П7 устанавливают напряжение, при котором должен сработать ЭОС-2 в этой точке;

посредством резистора П1 регулируют выходное напряжение, чтобы произошло отключение выходных реле блоков БО1 и БО2;

разделяют путь замедления на 10—15 равных частей и для каждой точки проверяют скорость, при которой срабатывают выходные реле блоков БО1 и БО2;

данные наносят на график расчетных кривых, получая кривую действительного срабатывания ограничителя скорости.

Для упомянутых выше случаев эта кривая очень часто пересекает расчетную кривую, далеко отходя от заданной защитной в зоне малых скоростей на подходе подъемного сосуда к месту разгрузки.

Для предотвращения ложных срабатываний ограничителя скорости приходится растягивать путь замедления, изменяя проектные данные по заданной величине замедления и уменьшая производительность подъемной установки. Это, безусловно, большой недостаток ограничителя скорости, так как при любом подборе сменных шестерен и изменении уставок регулируемых резисторов невозможно получить заданную величину замедления.

Приступая к построению кривой скорости, следует использовать формулу

$$v_k = a_n t_x \left( \sqrt{\frac{2(x_p + h_n)}{a_n t_x^2} + 1} - 1 \right), \quad (7.67)$$

где  $h_n$  — фактический путь переподъема для данной установки (или проектный, если он меньше фактического);  $t_x$  — время движения машины с почти постоянной скоростью после начала предохранительного торможения для режима спуска расчетного груза;  $a_n$  — минимально допустимая величина замедления при предохранительном торможении ПБ.

По поводу последних двух величин следует сделать несколько замечаний. Для двухконцевых и многоканатных подъемных установок, используемых на стволах глубиной 400—700 м или менее, и при величине концевых нагрузок не более 80% максимально допустимых для данного типа машины время движения машины можно выбирать в пределах 1,2—1,4 с, ориентируясь одновременно на фактически полученную величину времени движения машины с почти постоянной скоростью при предохранительном торможении в режиме спуска расчетного груза. На глубоких стволах для многоканатных подъемных машин это время целесообразно увеличить до 1,7 с, то же проверить по осциллограммам, полученным во время предохранительного торможения.

Для одноконцевых подъемных установок не всегда удастся использовать формулу (7.67), так как в ней не учитывается путь, проходимый сосудом, вследствие увеличения скорости после отключения двигателя в момент начала предохранительного торможения. Как известно, ограничителями скорости ЭОС-2 слабеют и многоканатные подъемные машины, используемые во время прохождения стволов как одноканатные с барабанобоймой. У таких машин ускорение свободного выбега обычно бывает в пределах 3—4,5 м/с<sup>2</sup> и пренебрегать дополнительным

увеличением пути движения подъемного сосуда уже нельзя (см. рис. 7.13). Ориентировочно этот путь можно определить по формуле

$$h_y = \frac{a_y t_x^2}{4}, \quad (7.68)$$

где  $a_y$  — ускорение свободного выбега; его лучше брать из осциллограммы, снятой во время предохранительного торможения при спуске наибольшего расчетного груза. Как указывалось ранее (см. § 7.8), начальная скорость не влияет на величину этого пути, поэтому осциллографирование целесообразно выполнять при отключении сосуда, движущегося с малой скоростью. Величина скорости для построения критической кривой

$$v_{1к} = a_{п\text{тх}} \left( \sqrt{\frac{2(x_p + h_{1п} - h_y)}{a_{п\text{тх}}}} + 1 - 1 \right), \quad (7.69)$$

где  $h_{1п}$  — дополнительный путь безопасности (он должен быть предусмотрен в проекте) для движения сосуда с малой скоростью при подходе его к забою.

Выбирая допустимую величину замедления для предохранительного торможения  $a_n$ , следует руководствоваться нормами, указанными в старых ПБ или ПТЭ и брать  $a_n = 1,5 \text{ м/с}^2$ . Исключения могут составлять случаи, для которых по условиям непрокальзывания головных канатов принята меньшая величина, но она должна быть согласована с местным руководством Госгортехнадзора.

Окончив построение всех кривых и окончательно отрегулировав ограничитель скорости, выполняют несколько контрольных осциллографирований для различных случаев предохранительного торможения:

подъем расчетного груза;

срабатывание ограничителя скорости на подходе подъемного сосуда к верхней приемной площадке при подъеме расчетного груза;

срабатывание ограничителя на сверхскорости при спуске расчетного груза;

то же, но при промежуточных значениях скорости на разных отрезках пути замедления (две-три осциллограммы);

срабатывание ограничителя скорости при подходе к верхней приемной площадке пустого сосуда (в нижнем сосуда расчетный груз);

отсутствие срабатывания ограничителя скорости при выполнении расчетной диаграммы разгона. На этом режиме дополнительно проверяется предохранительное торможение от кнопки «Стоп».

После обработки осциллограммы полученные данные наносят на построенные диаграммы. Все точки должны находиться в обла-

сти, ограниченной с одной стороны фактической кривой срабатывания ограничителя скорости, а с другой — критической кривой скорости.

Если при наладке ограничителя скорости будет выявлено, что вследствие его несовершенства приходится делать отступления от проекта при выполнении заданного режима разгона или замедления подъемного сосуда или при выполнении обоих режимов, то все отступления необходимо согласовать с проектной организацией.

Кроме отмеченных уже недостатков ограничителя скорости ЭОС-2, ограничивающих главным образом выполнение проектных диаграмм скорости и нередко вызывающих ложные срабатывания ограничителя в процессе наладки ограничителей на различных новых и эксплуатируемых подъемах, наладочными бригадами были выявлены недостатки, снижающие четкость работы ограничителя скорости. Приводим наиболее существенные из них:

введение заданной скорости в схему ЭОС-2 осуществляется по одной цепи, т. е. является общим для обоих каналов. При нарушениях в цепях задания или ошибках в кинематической цепи оба канала могут оказаться загрубленными и ограничитель скорости практически станет неработоспособным, так как не обеспечит отключения машины в нужный момент времени. Отключение может вообще не наступить или произойдет с опозданием, следствием чего явится авария;

при малых скоростях движения подъемных сосудов скорость переключения этажных выключателей в аппарате АЗК значительно уменьшается (это много раз отмечалось на практике). Находящиеся в цепях задания контакты аппарата АЗК в момент переключения создают разрыв цепи, вызывая ложные срабатывания ограничителя скорости;

наводки от сети переменного тока искажают напряжения сельсинов, из-за чего при малых скоростях возникают ложные срабатывания;

отсутствует контроль целостности всех цепей фактической скорости при падении одного тахогенератора на подъемной машине и установке перемычки вместо второго, например вместо ТГ2 перемычка между контактами 13—14 (см. рис. 7.16).

ЭОС-2 контролирует минимальную скорость на небольшом отрезке пути, так как по мере дальнейшего поворота сельсина напряжение его начинает постепенно увеличиваться. Неудачный выбор пути минимального контроля, особенно в установках со значительным путем движения сосуда в кривых или для случаев переподъема из-за транспортировки отрезков рельсов или иных длинных предметов, отказ корректора у многокаплатных подъемных машин, вследствие чего также сместится точка контроля минимальной скорости, могут в конечном счете вызвать аварию, так как дальнейший путь подхода подъемного сосуда к приемной площадке уже не будет контролироваться;

контроль защитной кривой осуществляется от постороннего источника тока, поэтому из-за искажений кривой напряжения и неполного сглаживания пульсации напряжения при выпрямлении построенная защитная кривая неточна, причем фактическая защитная кривая будет проходить ближе к критической, сужая область безопасной работы ограничителя;

наличие большого количества элементов и сложность схемы требуют высокой квалификации обслуживающего персонала, поэтому очень часто проверка схемы, предусмотренная инструкцией, выполняется не в полном объеме. Это объясняется тем, что из-за сложности проверки на нее приходится затрачивать больше времени, чем это предусмотрено в проекте или отводится на шахтах для приема (сдачи) смены;

обилие ложных срабатываний (часть причин, вызывающих ложные срабатывания, была нами указана) приводит к попыткам обслуживающего персонала вмешаться в работу ограничителя скорости, а это, в конце концов, вызывает загроуждение защиты, и одно из главных преимуществ этого типа ограничителя — отстранение обслуживающего персонала от работы со схемой ограничителя — практически сводится к нулю. Существует еще одна важная причина, принуждающая обслуживающий персонал вмешиваться в работу ограничителя — это очень большое количество элементов в схеме ограничителя и их сравнительно малая надежность. На практике уже отмечались случаи выхода из строя выпрямителей, конденсаторов и резисторов. Не спасает положение даже отключение ограничителя из-за выхода из строя этих элементов, так как каждое отключение приводит к простоям подъемной машины и срыву работы шахты. На вызов специалистов требуется затратить очень много времени, и обслуживающий персонал поневоле вмешивается в работу схемы, стремясь сократить время простоя.

Неотъемлемой частью при работе ограничителя скорости ЭОС-2 является реле контроля вращения типа РКВ-1 для контроля целостности кинематической части при передаче вращения от вала подъемной машины к сельсином ограничителя скорости, встроенным в АЗК, и регулятору хода подъемной установки, тоже смонтированному в одном из узлов АЗК. Таким образом, от качества РКВ-1 во многом зависит безопасность работы машины как в автоматическом, так и ручном режиме.

Схема реле, выпускаемого Конотопским заводом, показана на рис. 7.17. Непосредственно из схемы ясно, что работа выходного реле *P3* зависит от согласованной работы реле *P1* и *P2*. Только в тех случаях, когда оба реле или включены, или выключены, не происходит срабатывания реле *P3* с последующим отключением цепи предохранительного торможения. Описание работы РКВ-1 дано в инструкции завода и литературе [20], поэтому его не будем здесь приводить. Непосредственно из схемы реле ясны и задачи наладчика по обеспечению согласованной работы реле

$P1$  и  $P2$ . Нормально при неподвижной машине оба эти реле включены, так как открыты триоды  $T2$  и  $T4$ . Отключение реле  $P2$  при правильной настройке схемы должно произойти уже вначале вращения машины, когда скорость достигнет значения 0,3—0,4 м/с. Однако получить четкое срабатывание этого реле, а главное, обеспечить в дальнейшем его четкую работу удастся далеко не всегда, точнее не удастся в большинстве случаев, когда скорость машины становится больше 6—8 м/с. Это происходит из-за дефектов схемы:

мощность потенциометров  $П1$ ,  $П2$ ,  $П3$  слишком мала, что приводит к частому выходу их из строя и нечеткой работе всей схемы реле РКВ;

при открывании транзистора  $T3$  реле  $P2$  отключается, но ток в цепи коллектор—эмиттер транзистора продолжает протекать и увеличивается по мере возрастания скорости машины. При скоростях, близких к максимальной, часто происходит перераспределение напряжений, и ток достигает величины срабатывания, вызывая ложное отключение машины;

из-за недостаточной величины напряжения тахогенератора  $ТГ1$  во время разгона машины иногда возникают режимы неустойчивой работы реле  $P1$ , что также может вызвать ложные срабатывания или привести к нескольким переключениям реле; переключение транзисторов не всегда происходит в релейном режиме, что приводит к затягиванию времени срабатывания реле со всеми вытекающими отсюда последствиями;

вследствие повышенных зазоров в кинематической схеме АЗК (особенно это заметно на глубоких стволах и при повышенных максимальных скоростях машины, более 8 м/с) увеличивается влияние усилий от переключения контактов этажных выключателей. При замедлении машины и переходе в режим дотягивания каждое переключение этажных выключателей вызывает покачивание их валов, передаваемое на тахогенератор АЗК. В результате его напряжение становится пилообразным, причем величина

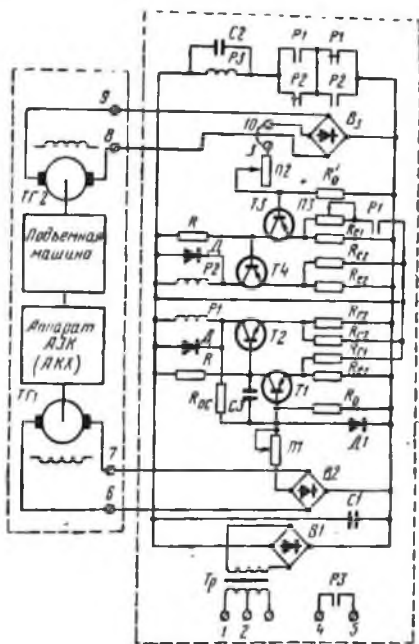


Рис. 7.17. Реле контроля вращения РКВ

ника достаточно для срабатывания реле  $P1$  (были случаи, когда на неподвижной машине при повороте вала аппарата АЗК в пределах зазоров происходило срабатывание реле  $P1$ );

на заводе-изготовителе не проверяют транзисторы по контрольным параметрам и в отправляемых к потребителям реле часто встречаются бракованные транзисторы;

выше отмечалось, что работа выходного реле возможна только при согласованной работе промежуточных реле  $P1$  и  $P2$ , поэтому

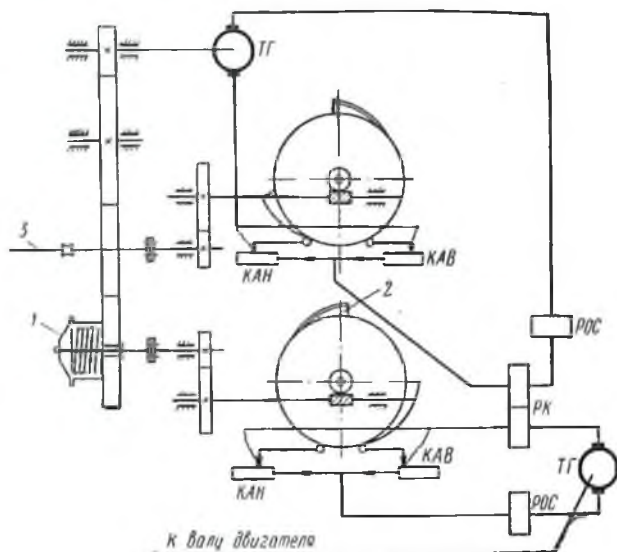


Рис. 7.18. Ограничитель скорости повышенной надежности:

РОС — реле ограничения скорости; РК — реле контроля; КАН

неполадки в промежуточных реле (приваривание одного из контактов, пробой изоляции, облом контакта или обрыв подводящего проводника, сопровождаемый одинарным, а еще хуже двойным замыканием на землю) будут приводить в лучшем случае к ложным срабатываниям защиты подъемной установки, сопровождаемым предохранительным торможением, а в худшем — незамеченным отказам в работе реле РКВ, что при неблагоприятном стечении обстоятельств грозит аварией.

В заключение целесообразно коротко остановиться на работе ограничителей скорости повышенной надежности, разработанных в тресте Донецкуглеавтоматика и по решению Госгортехнадзора внедряемых на всех подъемных установках.

На рис. 7.18 приведена принципиальная схема такого ограничителя. В нем использованы основные узлы ограничителя скорости с командоаппаратами РОС-5914, по тахогенератор через специальный редуктор подсоединен непосредственно на вход

бывшего указателя глубины завода НКМЗ (в настоящее время оставшаяся часть указателя переименована в регулятор подъема). Весьма похожие указатели имеются и на некоторых старых машинах завода ЛКУ. Чертежи привязки редуктора тахогенератора разработаны трестом и согласованы с МакНИИ именно для такого типа указателей глубины, поэтому на машинах, не имеющих подобных указателей (например, некоторые машины 2Ц 3,5 × 1,7 и многоканатные машины с АКХ), устанавливать ограничители скорости повышенной надежности до разработки новых чертежей для привязки тахогенераторов и согласования их с МакНИИ недопустимо. То же можно сказать и относительно установки командоаппаратов.

Следует также отметить, что изготовление отдельных узлов ограничителей полукустарным способом без согласования с заводом — изготовителем подъемной машины, безусловно, снижает качество работы ограничителя. Достаточно напомнить, что привязка редуктора ограничителя повышенной надежности происходит к входному валу указателя глубины. Поэтому или исключается контроль всей внутренней кинематики и особенно шпонок, которыми крепят отдельные передачи указателя, т. е. по сути дела получаются два ограничителя, командоаппараты которых установлены на общих ретардирующих дисках и только тахогенераторы работают раздельно, причем при отказе одного из тахогенераторов или обрыве соединительного вала к указателю глубины может произойти срабатывание ограничителя скорости, или будет возникать рассогласование в работе ограничителя после перестановки сосудов.

По нашему мнению, было бы целесообразнее иметь на машине два совершенно одинаковых ограничителя скорости с командоаппаратами РОС-5914, работающих совершенно независимо друг от друга и не имеющих общих узлов. В настоящее время имеются буквально тысячи подъемных машин, снабженные ограничителями скорости с командоаппаратами РОС-5914 или РОС-5912, а аварии на машинах, связанные с недостатками ограничителей подобного типа (без учета плохого качества ухода), определяют сотыми долями процента, поэтому двойной контроль такими ограничителями намного повысит безопасность работы. Это совершенно не означает, что следует прекратить разработку новых конструкций, но каждая из них должна быть надежнее уже работающих ограничителей, и такая проверка должна быть обязательной для МакНИИ и ВостНИИ.

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СХЕМАМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

### § 8.1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Рассматривая режимы управления автоматизированными подъемными установками, целесообразно предварительно указать на общие задачи, решаемые во время проектирования и наладки установок, так как при этом легче выявить особенности, связанные с типом машины и ее назначением. В частности, можно установить, какое влияние оказывают динамические усилия в канате на работу установки, как зависит точность подхода подъемного сосуда к приемной площадке от назначения машины (подъем и спуск груза или только подъем груза, а иногда и перегон порожних сосудов), как влияют выбор типа привода (постоянного или переменного тока) на работу машины вообще и точность подхода подъемного сосуда к приемной площадке в частности, оценить пригодность существующей аппаратуры для выполнения задач автоматического управления и т. д.

В настоящее время в Советском Союзе и за рубежом создано большое число автоматизированных подъемных установок, выполнены многочисленные теоретические и практические работы по исследованию работоспособности различных схем, что дает возможность, составляя общие рекомендации, учитывать накопленный опыт. Следует признать, что у нас наибольшее распространение получила автоматизация скиповых подъемных установок с асинхронным приводом, для которого разработаны следящие системы с применением в качестве исполнительного органа механических тормозов или динамического торможения, а для контроля заданной диаграммы используется скорость машины. Значительно меньше распространен привод постоянного тока так как он редко применяется для грузовых машин, а в грузоподъемных, согласно ПБ, при спуске-подъеме людей автоматизация запрещена.

Для автоматизации подъемных установок с приводом постоянного тока нашли распространение следящие системы, разработанные для управления установками по заданному параметру во времени (ускорению, скорости или пути), причем управление только по одному параметру применяется редко, чаще используются два, а реже три.

При любом роде тока в серийной автоматизированной установке приходится уделять наибольшее внимание вопросам производительности и безопасности, так как автоматизированная подъемная установка должна быть экономичнее и надежнее обычной подъемной установки, работающей в режиме ручного управления. Иначе не окупятся дополнительные затраты как капитальные, так и эксплуатационные, вызванные усложнением схемы управления при введении автоматизации и повышенными затратами на ее обслуживание (оплата более высококвалифицированного обслуживающего персонала и большие затраты времени на поддержание установки в рабочем состоянии). Создание установок, не отвечающих этим требованиям, не имеет смысла для серийного изготовления.

Таким образом, во время проектирования указанные выше требования должны быть положены в основу всей работы над созданием схемы, а во время наладочных работ они являются основным критерием по оценке возможностей, заложенных в проекте, и по качеству выполненных наладочных работ. В этом наладчик должен отдавать себе ясный отчет, и, добиваясь выполнения заданной диаграммы работы во всех рабочих режимах, полностью использовать возможности, заложенные в примененной аппаратуре управления и защиты. Отступление от заданной диаграммы (точнее, удлинение проектного цикла работы с учетом только времени движения сосуда) свидетельствует или о плохом качестве выбранной аппаратуры и запроектированной схемы управления, или о недоброкачественной наладке.

Из приведенных соображений следует, что для обеспечения надежности и безопасности главным условием служит правильный выбор аппаратуры управления и удачная ее компоновка, т. е. создание наиболее простых и четко работающих схем для управления всеми узлами подъемной установки. Решаются эти вопросы главным образом во время проектирования, так как провести замену аппаратуры во время наладки практически невозможно, во-первых, из-за трудностей, связанных с приобретением новой аппаратуры, а во-вторых, из-за ограниченного времени выполнения наладочных работ. Только грубые просчеты в проекте должны вынудить наладчика потребовать изменения выбранной аппаратуры и удлинения срока наладки на ее приобретение и монтаж.

Обеспечить запроектированную производительность можно только при минимальных отступлениях от заданной диаграммы скорости, а для этого надо правильно выбрать коэффициент усиления и настроить стабилизирующие устройства и обратные связи, а также свести к минимуму вредное влияние мертвых зон (счетель гистерезиса) и колебаний температуры на точность работы установки. Впоследствии этому будет уделено соответствующее внимание, а в настоящее время следует только отметить возможности, какими располагает проектировщик и наладчик при решении этих вопросов.

Нетрудно убедиться, что для расчета основных узлов схемы обоснования выбранных уставок проектировщик должен использовать весьма сложный математический аппарат. Это объясняется тем, что система регулирования является сложной динамической системой с большим числом постоянных и переменных параметров. Многие параметры обладают большой нелинейностью, поэтому, даже воспользовавшись своевременными средствами, проектировщик получит лишь приближенное значение параметров, так как в процессе анализа от него потребуются значительная идеализация схемы. В силу изложенных причин в большинстве проектов вообще отсутствует расчетная часть и не даются сведения о настройке отдельных параметров схемы, а в тех случаях, когда часть сведений приведена, данные очень часто бывают неточны и нуждаются в дополнительной проверке.

Из приведенных соображений становятся ясными и задачи наладчика: он должен, настраивая отдельные узлы аппаратуры, убедиться, что она правильно выбрана с точки зрения надежности, а все элементы, обеспечивающие безопасность, удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. Наилучшее трудоёмкое является частью наладки, обеспечивающая производительность установки, так как проводя ее, необходимо устранить все недостатки проекта. Сделать это можно двумя путями. Методом последовательных приближений экспериментально можно подобрать значение коэффициента усиления и отдельных параметров в цепях стабилизации и обратных связей. С помощью отдельных проб, постепенно регулируя отдельные параметры в узлах схемы, а иногда и заменяя схему узла, получают более или менее приемлемый результат по величине цикла. При таком методе работы, получив определенный результат, невозможно утверждать, исчерпал ли наладчик возможности регулируемой аппаратуры, хотя и затратил для этого много времени.

Второй метод позволяет, используя минимум теоретического анализа на базе экспериментально снятых характеристик, выявить возможности запрограммированной аппаратуры и решить задачу с максимальным приближением. Для пояснения высказанных соображений попытаемся сравнить возможности, какими располагают проектировщик и наладчик.

Во время проектирования в распоряжении конструктора имеются только каталожные и справочные материалы, поэтому, составляя дифференциальное уравнение переходного процесса, он должен учесть все параметры. Например, для получения зависимости между входным и выходным напряжением ЭМУ он должен составить дифференциальное уравнение третьей степени, так как в ЭМУ имеются два последовательно включенных усилителя, каждый из которых может быть представлен аперподическим законом со своей постоянной времени, и, кроме того, положительная обратная связь, роль которой выполняет компенсационная обмотка, также имеющая свою постоянную времени.

Если проектировщик захочет ввести стабилизацию, а иногда и отрицательную обратную связь, он получит уравнение минимум пятой степени. Аналогичная картина будет для каждого узла всей схемы регулирования. В результате будет получено очень громоздкое дифференциальное уравнение со многими неизвестными, решить которое не всегда удастся даже при использовании всех возможностей современной счетно-решающей техники, и нужно будет допустить ряд упрощений. А если проектировщик пожелает более полно выяснить возможности отдельных звеньев, меняя в них различные параметры, он вынужден будет решить не одно, а несколько подобных уравнений.

Совсем новыми возможностями располагает наладчик. Имея перед собой ЭМУ и сняв основные характеристики (см. § 5.3), он после этого может с помощью осциллографа получить изменение напряжения на выходе усилителя в момент подачи напряжения в задающую обмотку. Сняв осциллограммы при малой и большой компенсациях для разных значений форсировки, он получит из анализа осциллограмм изменение постоянной времени на выходе, т. е. практически заменит ЭМУ со всеми обратными связями одним аperiodическим звеном. Практика наладки показала, что это вполне возможно, и из полученной осциллограммы очень легко определить постоянную времени ЭМУ. Ниже при разборе отдельных схем будут приведены примеры подобных осциллограмм. Времени же на снятие осциллограмм и характеристик затрачено очень немного.

Поступая аналогичным образом по отношению к остальным узлам схемы автоматического регулирования, можно свести бывшее громоздкое уравнение к уравнению третьей — пятой степени (с учетом наиболее важных узлов стабилизации, введенных отдельно) и, анализируя его методом частотно-фазовых логарифмических характеристик, получить довольно четкое представление об устойчивости системы при требуемых коэффициентах усиления. Остальное решается легко методом подбора.

Ниже на примере одной-двух схем предлагаемый метод будет пояснен более подробно, но предварительно необходимо выяснить, какие отдельные факторы оказывают решающее влияние на работу схемы автоматического регулирования. Затем надо подробно разобрать каждый из них и только после этого приступить к описанию отдельных схем.

1. Выше указывалось, что в подъемных установках с асинхронным приводом наибольшее распространение получили следующие системы, а они, как известно, работают в функции рассогласования между заданной и фактической величинами. Если регулирование ведется по скорости, то рассогласованием будет разность между заданной скоростью и фактической, измеряемой тахогенератором. Аналогичное положение будет при управлении по ускорению или пути.

На рис. 7.1 приведена диаграмма заданной скорости и усилий для подъема груза. При спуске груза усилия, требуемые для получения той же самой диаграммы скорости, будут совершенно иными. Это ясно из самой физики процесса, так как при подъеме груза в самом начале разгона двигатель должен преодолевать вес груза и инерционные усилия. Развиваемый двигателем момент не может быть строго равен этим величинам, обычно он больше заданного на диаграмме. Разность между фактической и требуемой величинами должна быть погашена каким-нибудь посторонним источником, например тормозной системой, управляемой в функции рассогласования скорости. При замедлении двигатель чаще всего отключается. Скорость поддерживается энергией, накопленной в движущихся массах, а машина тормозится под влиянием веса груза и вредных сопротивлений, и опять-таки в подавляющем большинстве случаев требуется посторонний источник для создания дополнительного тормозного усилия, обеспечивающего заданный режим работы. При спуске груза дополнительное тормозное усилие в режиме замедления будет намного больше, так как груз будет препятствовать остановке машины. Величина требуемого тормозного усилия может быть получена по формуле

$$F_{\tau} = F_z \mp F_r \left(1 \pm \frac{a}{g}\right),$$

где  $F_z$  — тормозное усилие, обеспечивающее заданную диаграмму скорости при пустых подъемных сосудах и уравновешенном головном канате;  $F_r$  — неуравновешенная часть веса груза и каната.

Знак минус в формуле используется при подъеме, а плюс — при спуске груза.

В большинстве подъемных установок замедление свободного выбега находится в пределах  $0,4-0,6 \text{ м/с}^2$ , а это означает, что отношение  $F_{\tau}/F_z$  будет находиться в пределах  $0,7-0,9$ . Если принять эти цифры, то отношение требуемых тормозных усилий для подъема и спуска груза будет находиться в пределах

$$\frac{F_{\tau, \text{с}}}{F_{\tau, \text{п}}} = \frac{F_z + F_r \left(1 + \frac{a}{g}\right)}{F_z - F_r \left(1 - \frac{a}{g}\right)} = 6 \div 19,$$

где  $F_{\tau, \text{с}}$  — требуемое тормозное усилие при спуске груза;  $F_{\tau, \text{п}}$  — то же, при подъеме груза.

В таких же пределах должна изменяться и величина рассогласования между заданной и фактической скоростями, для того чтобы можно было обеспечить требуемую величину тормозного усилия. Аналогичное положение будет при управлении по ускорению или пути. Рост рассогласования увеличит ошибку при подходе подъемного сосуда к приемной площадке, а значит и удлинит время цикла. Уменьшить ошибку можно, только увеличив

коэффициент усиления. Это одна из основных проблем при решении вопроса о производительности подъемных установок.

Также же соображения можно высказать и при применении двигателя постоянного тока. Как известно, зависимость между скоростью и усилием в двигателе постоянного тока с независимым возбуждением характеризуется прямой, слегка наклоненной к оси абсцисс. Угол наклона этой прямой зависит от сопротивления цепи якоря и степени компенсации падения напряжения в этой цепи, причем безразлично, чем достигается эта компенсация — компаундирующей обмоткой двигателя постоянного тока или введением положительной обратной связи в цепь управления. В том и другом случае изменение угла наклона характеристики означает изменение коэффициента усиления системы регулирования, причем чем больше коэффициент усиления, тем меньше угол наклона характеристики, а значит, в конечном счете, тем меньше ошибка, с какой подойдет подъемный сосуд к приемной площадке (если считать, что заданная диаграмма соответствует случаю, когда характеристика параллельна оси абсцисс).

2. Решение вопросов автоматизации усложняется и тем, что режимы ускорения и замедления подъемных машин являются по сути дела переходными процессами, а регулирование переходных процессов значительно сложнее, чем стационарных. Выбирая величину коэффициента усиления, приходится учитывать и этот фактор.

3. Большое влияние на точность подхода подъемного сосуда к приемной площадке оказывают мертвые зоны, имеющиеся во многих звеньях системы регулирования. Выше уже упоминалось, что в аппарате типа РОС, иногда применяемом в системах автоматического регулирования, величина мертвой зоны достигает 3—4% по отношению к номинальной скорости. Велика мертвая зона и у аппаратов СКАА, нашедших в последнее время широкое распространение в схемах автоматического регулирования. Дополнительным источником появления мертвых зон являются многие узлы аппарата АКХ.

4. Очень большое влияние на точность регулирования оказывает и отсутствие или малая степень тепловой стабилизации отдельных узлов схемы.

5. В последнее время выявилось значительное влияние упругих свойств каната на работу автоматизированных многоканатных подъемных установок, смонтированных на глубоких стволах.

Ниже эти вопросы будут подробно рассмотрены применительно к схемам с приводом постоянного и переменного тока.

## § 8.2. ВЫБОР КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Для выработки рекомендаций по выбору величины коэффициента усиления следует предварительно оценить основные

условия работы следящей системы, предназначенной для управления подъемной установкой.

Выше указывалось, что для серийной подъемной установки обеспечение высокой производительности является одним из обязательных условий работы. Если сравнить фактическую диаграмму, получаемую при работе на ручном управлении, с заданной проектом, то отношение соответствующих циклов работы  $T_p$  будет находиться в пределах 1,25—1,35. Только в самых благоприятных условиях это отношение будет находиться в пределах 1,10—1,15. Так как следящая система работает в функции рассогласования между фактической и заданной величинами, то очевидно, что фактическое время цикла всегда будет выше заданного, но очень важно, чтобы эта разница не превышала 8—10%.

Основное регулирование осуществляется в начальный период разгона и на протяжении всего времени замедления подъемного сосуда, поэтому основные ошибки по пути и времени накапливаются именно в эти периоды работы. Ликвидировать ошибки по пути приходится при малой скорости (обычно скорость колеблется в пределах 0,5—1,0 м/с) и поэтому для сокращения времени цикла следует прежде всего уменьшить ошибки по пути.

Ошибка по пути зависит в первую очередь от величины рассогласования между заданной и фактической скоростями. По абсолютной величине при выбранном коэффициенте усиления она будет тем больше, чем выше номинальная скорость (оставаясь в процентном отношении примерно постоянной). Вместе с тем величина рассогласования обратно пропорциональна коэффициенту усиления и поэтому будет тем меньше, чем больше коэффициент усиления системы регулирования. Например, если регулирование ведется по скорости и выбран коэффициент усиления, обеспечивающий создание требуемого тормозного усилия при рассогласовании, равном  $X\%$  от заданной максимальной скорости, то при подходе подъемного сосуда к приемной площадке ошибку пути, накопившуюся во время замедления, можно приблизительно определить по формуле

$$\Delta h = v_0^2 \frac{X}{200a}, \quad (8.1)$$

где  $v_0$  — наибольшая скорость подъемной установки.

Если выбрать  $X = 3\%$ ,  $v_0 = 10$  м/с,  $a = 0,5$  м/с<sup>2</sup>, то  $\Delta h = 3$  м. Для скорости 15 м/с ошибка по пути возрастает до 6,5 м. Из примера видно, что при выбранном рассогласовании время достижения получится очень большим и установка будет явно неработоспособной. Увеличивая коэффициент усиления в два-три раза, можно в таком же отношении снизить ошибку по пути, однако получить высокие коэффициенты усиления в реальных схемах автоматического регулирования очень трудно.

Большое изменение величины тормозных усилий при подъеме и спуске груза также оказывает значительное влияние на точность работы автоматизированной установки.

Для пояснения сказанного выясним более подробно на примерах работы идеализированных регуляторов величину ошибки, связывающую как с выбором коэффициента усиления, так и с режимом работы машины. Под идеализированным будем подразумевать регуляторы, у которых отсутствуют мертвые зоны, а собственные переходные процессы не влияют на работу машины.

Ниже приведены уравнения, описывающие движение машины, управляемой разными регуляторами:

а) регулятором скорости и пути (заданная скорость меняется в функции пройденного пути)

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c_1 (u^2 - v^2) \pm F_r = 0; \quad (8.2)$$

б) регулятором скорости (заданная скорость изменяется в функции времени, т. е. параметрическим регулятором)

$$m \frac{du}{dt} + c (u - v) \pm F_r = 0; \quad (8.3)$$

в) регулятором пути (заданный путь изменяется в функции времени)

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c_2 (X - X_3) \pm F_r = 0. \quad (8.4)$$

Их решение относительно скорости и пути движения подъемного сосуда:

$$u = v_0 \sqrt{\frac{1}{\alpha^2} \frac{F_3 \mp F_r}{F_{\max}} \left( 1 - e^{-\frac{(1-\beta^2)\alpha^2}{F_3} \frac{F_{\max}}{F_3}} \right) + \beta^2}; \quad (8.5)$$

$$u = v + \frac{v_0}{\alpha} \frac{F_3 \mp F_r}{F_{\max}} \left( 1 - e^{-\frac{\alpha m}{v_0} t} \right); \quad (8.6)$$

$$u = v + v_0 \sqrt{\frac{X_l}{X_{\max}}} \frac{F_3 \mp F_r}{F_{\max}} \sin \sqrt{\frac{\alpha m}{X_l}} t; \quad (8.7)$$

$$X = v_0 t \left( \sqrt{1 + \frac{F_3 \mp F_r}{\alpha^2 F_m}} - \frac{v_0 t}{4X_l} \right); \quad (8.8)$$

$$X = X_3 + \frac{v_0}{\alpha} \frac{F_3 \mp F_r}{F_{\max}} t; \quad (8.9)$$

$$X = X_3 \left[ 1 + \frac{F_3 \mp F_r}{\alpha_1 F_{\max}} \left( 1 - \cos \sqrt{\frac{\alpha m}{X_l}} t \right) \right], \quad (8.10)$$

где  $m$  — масса всех движущихся частей, приведенная к ободу барабана подъемной машины;  $X$  — пройденный путь;  $u$  — фактическая скорость;  $v$  — заданная скорость;  $\beta = v/v_0$  —

относительная скорость;  $F_{\max}$  — наибольшее тормозное усилие, возникающее под воздействием регулятора;  $c$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  — коэффициенты пропорциональности:

$$c_1 = \frac{F_{\max}}{v_l^2}; \quad c = \frac{F_{\max}}{v_l}; \quad c_2 = \frac{F_{\max}}{X_l},$$

$v_l$ ,  $X_l$  — отклонения от заданных величин скорости и пути, обеспечивающие создание регулятором тормозного усилия, равного  $F_{\max}$ ;  $\alpha = v_0/v_l$ ;  $\alpha_1 = X_3/X_l$  — коэффициенты усиления регуляторов по скорости и пути;  $X_{\max}$  — путь замедления машины при тормозном усилии  $F_{\max}$  и  $F_r = 0$ ;  $a_m$  — замедление машины при тормозном усилии  $F_{\max}$  и  $F_r = 0$ .

Если принять коэффициенты усиления регуляторов равными 25 и 10;  $F_3 = 1,4F_r$ ;  $F_{\max} = 3F_r$ ;  $v_0 = 10$  м/с, то ошибки при подходе подъемного сосуда, подсчитанные с помощью формул (8.5), (8.8), (8.9) и (8.10), дадут значения, приведенные в табл. 8.1.

Таблица 8.1

| Режим | Ошибка в скорости подхода, м/с | Ошибки по пути замедления, м              |                                    |                                 |
|-------|--------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
|       | Регулятор скорости и пути      | Регулятор скорости и пути — формула (8.8) | Регулятор скорости — формула (8.9) | Регулятор пути — формула (8.10) |

Коэффициент усиления 25

|                                 |      |      |      |      |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| Подъем груза . . . . .          | 0,22 | 0,03 | 1,1  | 0,63 |
| Подъем пустого сосуда . . . . . | 0,42 | 0,25 | 3,36 | 1,8  |
| Спуск груза . . . . .           | 0,57 | 0,40 | 6,64 | 3,1  |

Коэффициент усиления 10

|                                 |      |      |      |      |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| Подъем груза . . . . .          | 0,36 | 0,15 | 2,26 | 1,35 |
| Подъем пустого сосуда . . . . . | 0,68 | 0,56 | 8,92 | 4,6  |
| Спуск груза . . . . .           | 0,9  | 1,10 | 16,0 | 8,0  |

В разобранных примерах наибольшая скорость была выбрана равной 10 м/с, однако в настоящее время все чаще встречаются скорости 12 и 15 м/с. Соответственно возрастет и величина ошибки по пути подхода подъемного сосуда. Анализируя полученные результаты, следует признать наиболее приемлемыми регуляторы хода с контролем по скорости. Они не склонны к генерации колебаний, как регулятор пути, и дают меньшую ошибку при подходе подъемного сосуда, причем с указанными коэффициентами усиления они будут приемлемы только для режимов подъема груза и перегона пустых судов. Если же предусматривается и спуск

груза, то необходимы дополнительные мероприятия, позволяющие уменьшить величину регулируемого тормозного усилия.

На первый взгляд может показаться, что предлагаемую величину коэффициентов усиления можно значительно увеличить, так как существующая в настоящее время аппаратура легко позволяет это делать. Однако на пути увеличения коэффициента усиления имеется много препятствий, и в реальных установках очень редко удается значительно повышать его величину.

К числу наиболее распространенных факторов, препятствующих повышению коэффициента усиления, в первую очередь относятся собственные переходные процессы регуляторов, вызывающие колебания скорости. Время и амплитуда этих колебаний играют существенную роль при замедлении машины. При росте амплитуды возникают заметные качания барабана, толчки в редукторе и муфтах, вредно влияющие на режим работы и сокращающие срок жизни машины. Кроме того, время переходного процесса должно быть обязательно меньше времени замедления, т. е. колебания должны исчезнуть до подхода подъемного сосуда к приемной площадке или точнее до места, где начинается скорость дотягивания. Это условие особенно важно для схем с использованием динамического торможения, в которых переходный процесс должен быть меньше времени движения сосуда на одной ступени роторного сопротивления, причем каждое переключение ступени роторного сопротивления является дополнительной причиной, вызывающей появления колебаний вследствие возникновения нового переходного процесса.

При больших коэффициентах усиления переходный процесс, вызывающий колебания скорости, может возникнуть и из-за наличия мертвых зон в аппарате сравнения. Действительно, если сравнение фактической и заданной скоростей происходит дискретно, это ведет к появлению дополнительных импульсов в величине скорости рассогласования, а такой импульс вызывает переходный процесс, и чем больше импульс, тем больше амплитуда колебаний скорости и дольше продолжается переходный процесс.

Следует отметить, что колебания скорости, возникающие при переходном процессе, при определенной величине их амплитуды могут вызвать ложные срабатывания защиты, контролирующей заданную скорость. Как отмечалось выше, ограничитель скорости должен настраиваться так, чтобы в любой точке при превышении заданной скорости на 15% происходило отключение машины и возникало предохранительное торможение. Таким образом, настройка ограничителя скорости служит верхней границей для амплитуды колебаний скорости.

И, наконец, на выбор величины коэффициента усиления оказывают влияние упругие свойства кабеля. Ранее в главе 7 и в [30] было показано, что любые изменения величины замедления подъемной машины приводят к колебаниям подъемных сосудов, а иногда

и барабана машины. Любые колебания подъемных сосудов вызывают дополнительные динамические усилия в головных канатах, а это, в свою очередь, отражается на режиме автоматического регулирования.

Особенно заметное влияние такие колебания оказывают на режим регулирования, когда возникшие колебания барабана (канатоведущего шкива) вызывают соответствующие колебания напряжения тахогенератора, с помощью которого регистрируется фактическая скорость машины. Попадая в элементы сравнения следящих систем и соответствующим образом усиленные, они вызывают значительное увеличение колебаний скорости машины. Если не принять мер, то в кривой скорости появляются устойчивые длительные колебания с амплитудой 0,5 м и более.

Резюмируя, можно сказать, что при выборе величины коэффициента усиления следует учитывать:

величину допустимой ошибки в пути, вызывающей удлинение цикла. Ошибка, получаемая при расчете в идеализированных условиях работы регулятора, должна быть увеличена минимум в два раза для учета реальной работы (колебания скорости от переходных процессов, влияние мертвых зон, влияние упругости каната, малая тепловая стабилизация, а иногда и полное отсутствие ее);

влияние переходного процесса не только на величину дополнительной ошибки, но и на величину колебаний скорости, благодаря которым могут возникать ложные срабатывания ограничителя скорости. Следует отметить, что особое внимание в этом случае приходится уделять наладке схем, в которых применяется динамическое торможение, так как в момент включения (отключения) очередного контактора практически мгновенно возникает значительное усилие. При применении механических тормозных устройств для автоматического регулирования возникновение и нарастание тормозного усилия происходит значительно медленнее, вследствие чего переходный процесс протекает при более благоприятных условиях и управлять им значительно легче;

колебания скорости, возникающие вследствие упругих свойств подъемного каната. Как показала практика, амплитуды таких колебаний (еще не усиленных регулятором) иногда бывают больше максимальной величины рассогласования, предусмотренной для работы регулятора скорости, и очень часто соизмеримы с этой величиной, поэтому в схеме необходимо предусматривать специальные меры по подавлению появившихся колебаний, так как при их усилении обязательно сработает ограничитель скорости.

Такого рода колебания особенно опасны при нахождении подъемного сосуда в кривых, так как в этом случае они сопровождаются большими ударами роликов о направляющие и могут вызвать аварию машины.

### § 8.3. ВЛИЯНИЕ МЕРТВЫХ ЗОН НА ТОЧНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Любая мертвая зона, характеризующаяся чаще всего петлей гистерезиса, создает дополнительную ошибку при подходе подъемного сосуда к приемной площадке. В зависимости от узла, в котором находится мертвая зона, изменяется и величина ошибки. Чем больше коэффициент усиления между сигналом, подаваемым в узел, имеющий мертвую зону, и выходным сигналом, тем больше будет величина ошибки. Например, если мертвая зона будет в аппарате сравнения регулятора скорости (8.2), то исходное уравнение примет вид

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + c_1 (u^2 - v^2) + c_1 (\Delta v)^2 \pm F_r = 0 \quad (8.11)$$

и его решение будет

$$u = v_0 \sqrt{\frac{1}{\alpha^2} \frac{F_a \mp F_r}{F_{\max}} \left( 1 - e^{-(1-\beta^2) \alpha^2 \frac{F_{\max}}{F_a}} \right) + \beta^2 + \frac{(\Delta v)^2}{v_i^2}}, \quad (8.12)$$

где  $\Delta v$  — величина ошибки, приведенная к скорости машины.

Источниками появления мертвой зоны служат:

зазоры в различных зубчатых передачах, например между валом машины и ретардирующим диском (машины завода НКМЗ), в зубчатых передачах АЗК (АКХ), редуктора тахогенератора и т. д.

мертвые зоны и вредные сопротивления регуляторов давления; вредные сопротивления в тормозной системе. Иногда они составляют 5—7% от тормозного усилия;

петли гистерезиса машинных усилителей и генераторов; отсутствие тепловой стабилизации во многих звеньях регулирования, например в задающих обмотках ЭМУ и ПМУ, в обмотке возбуждения тахогенератора и т. д.

На примере решения уравнения (8.11) можно легко проиллюстрировать влияние мертвой зоны, вызываемой зазорами, упомянутыми выше. Такие же результаты дают и вредные сопротивления в тормозной системе, когда регулирование осуществляется тормозным устройством.

Если в цепи регулирования предусмотрены ЭМУ и ПМУ, мертвая зона будет тем больше, чем шире петля гистерезиса. Уменьшить ширину петли гистерезиса можно введением обратной связи, но это снижает общий коэффициент усиления, более подробно этот вопрос будет рассмотрен в следующем параграфе.

Значительное влияние на ухудшение точности регулирования оказывает отсутствие тепловой стабилизации или малая ее величина. Тепловая стабилизация отсутствует, например, в большом количестве схем, у которых задающие обмотки ЭМУ подключены

непосредственно к регулируемому источнику напряжения. Очень часто для этой цели применяют выходное напряжение ПМУ. В процессе работы изменяется температура окружающей среды и температура медных обмоток от нагрева их током. В результате общие колебания температуры обмоток могут достигать 40—50° С. Если принять эти пределы, то получим колебания омического сопротивления обмоток на 16—20%. Соответственно будет изменяться и ток в задающих обмотках, а это может вызвать не только большие колебания скорости и ошибки в пути при подходе подъемного сосуда, но и полные отказы в работе схемы. Для схем, у которых последовательно с обмоткой ЭМУ включен резистор, зная границы колебания температуры, можно рассчитать изменение величины сопротивления всей цепи с учетом последовательно включенных резисторов, а значит и вычислить границы изменения тока задания от колебаний температуры.

Количество приведенных примеров можно значительно увеличить, однако и перечисленные факты достаточно убедительно показывают вредное влияние мертвых зон на процесс регулирования. Для устранения его в каждом конкретном случае необходимо рассмотреть условия работы налаживаемой схемы, изучить ее особенности и, исходя из полученного материала, наметить конкретные мероприятия по снижению влияния мертвых зон.

Кроме мертвых зон отрицательное влияние на качество работы схемы автоматического регулирования оказывают наводки и колебания напряжения в цепях управления, например, если питание цепей управления осуществляется от сети переменного тока через выпрямитель, то без специальной стабилизации подводимого напряжения работа схемы практически невозможна. При питании цепей управления от специального генератора постоянного тока приходится предпринимать специальные меры по предотвращению колебаний напряжения постоянного тока, вызванных изменением напряжения из-за колебания величины нагрузки в цепи управления. В зимний период довольно значительное влияние на величину напряжения генератора оказывает колебание окружающей температуры воздуха.

Большие погрешности в работу регулятора вносят и колебания напряжения тахогенератора, вызванные изменением его тока возбуждения, а это может произойти из-за изменения температуры нагрева обмотки возбуждения колебания напряжения в цепи управления.

#### § 8.4. ОБРАТНЫЕ СВЯЗИ

Различают отрицательные и положительные обратные связи. В первом случае часть выходного сигнала, подаваемая на вход, уменьшает результирующий выходной сигнал, что в конечном счете приводит к уменьшению коэффициента усиления звена, охватываемого обратной связью. Если обозначить:  $k_0$  — коэффи-

циент усиления звена или звеньев, действующих в основном направлении;  $k_{o.c}$  — коэффициент усиления обратной связи, охватывающей эти звенья, то общий коэффициент усиления

$$k = \frac{k_o}{1 + k_{o.c}} \quad (8.13)$$

Анализируя формулу (8.13), легко прийти к выводу, что даже значительное изменение основного коэффициента усиления  $k_o$  лишь в незначительной степени изменит общий коэффициент усиления  $k$ , и наоборот, изменение  $k_{o.c}$  сильно влияет на величину  $k$ . Для случаев, когда  $k_{o.c} > 1$ , формулу (8.13) можно упростить:

$$k \approx \frac{1}{k_{o.c}} \quad (8.14)$$

В этом случае более наглядно ясно значение  $k_{o.c}$ .

Отрицательная обратная связь не только уменьшает коэффициент усиления, но значительно сокращает время переходного процесса. На рис. 8.1 кривая 1 показывает время нарастания тока при подключении индуктивности к мощному источнику постоянного тока с напряжением  $E$ , в этом случае  $k = 1$ . Кривая 2 показывает, что постоянная времени не изменилась, хотя напряжение источника увеличено в 10 раз, а это равносильно подключению последовательно с индуктивностью усилителя с коэффициентом усиления  $k_o = 10$  при отсутствии обратной связи, а кривая 3 — время нарастания тока в цепи, когда усилитель и индуктивность охватываются жесткой обратной связью с коэффициентом усиления  $k_{o.c} = 0.9$ . Используя формулу (8.13), нетрудно убедиться, что для кривой 3 общий коэффициент усиления  $k = 1$ . Таким образом, в первом и третьем случаях (кривые 1 и 3) коэффициент усиления остался одинаковым, а время нарастания тока уменьшилось почти в 10 раз.

Жесткой называется обратная связь, обладающая определенным коэффициентом усиления, но работающая без запаздывания во времени. Однако следует помнить, что охватывание жесткой обратной связью нескольких (трех-четырех и больше) статических (аперiodических) звеньев в некоторых случаях может вызвать колебания, погасить которые бывает очень трудно. Такие колебания появляются, например, в некоторых случаях при охватывании ЭМУ и последовательно включенного с ним возбудителя или генератора жесткой обратной связью.

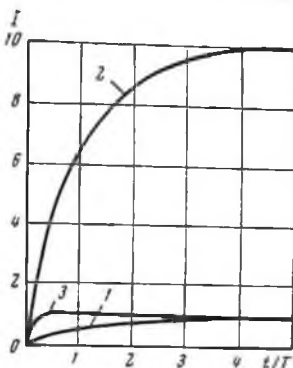


Рис. 8.1. Время переходного процесса:

1 — расцепное устройство, 2 — профиль зацепления и контроля скорости; 3 — от вала привода регулятора подъема

Иногда требуется решить совершенно иную задачу — повысить качество регулирования, т. е. подавить колебания, возникающие из-за применения слишком большого коэффициента усиления, не забывая величину самого коэффициента усиления. В этом случае обратные связи используются для стабилизации, но, как следует из формулы (8.13), система с жесткой обратной связью для решения подобных задач не применима.

Решение задачи достигается инерционной гибкой обратной связью.

В качестве гибких обратных связей используют звенья, состоящие из емкостей и резисторов. Они действуют до тех пор, пока в цепи происходит переходный процесс, уменьшая на это время величину коэффициента усиления. Одновременно в зависимости от типа звена (более подробно они будут рассмотрены в § 8.5) уменьшается или увеличивается время переходного процесса. Но как только переходный процесс окончился, прекращается и действие обратной связи и система опять получает высокий коэффициент усиления. Гибкие обратные связи, в частности, применяют для снижения влияния упругих свойств кабеля на работу системы регулирования, в схемах управления током возбуждения главных генераторов в системе Г — Д, в схемах с динамическим торможением и т. д.

Кроме отрицательной обратной связи применяют и положительную. В этом случае выходной сигнал, поступающий через усилитель на вход, увеличивает результирующую величину выходного сигнала. Общий коэффициент усиления при положительной обратной связи

$$k = \frac{k_0}{1 - k_0 k_{0.c}} \quad (8.15)$$

Варьируя величину  $k_{0.c}$ , можно довести  $k$  до бесконечности.

При применении положительной обратной связи система легко становится неустойчивой, и даже при общей устойчивости колебания, возникающие при переходном процессе, затухают медленно. Это особенно опасно для схем регулирования, применяемых в шахтном подъеме, так как из-за малой величины времени замедления и движения в кривых при разгоне время переходного процесса должно быть минимальным, о чем уже упоминалось выше, а амплитуды колебаний не должны превышать установленной величины скорости для ограничителя скорости и, как следствие, не вызывать появления значительных дополнительных усилий в отдельных узлах подъемной установки. Примерами положительной обратной связи могут служить: компенсация реакции якоря в ЭМУ, уменьшение наклона внешней характеристики генератора в системе Г — Д и т. д.

В заключение следует подчеркнуть, что, несмотря на многообразие задач, выполняемых обратными связями, в конечном счете их основное назначение сводится к стабилизации системы или, иными словами, к повышению качества регулирования,

так как с помощью обратных связей можно добиться требуемой точности регулирования, снизить длительность переходного процесса, ограничить величину перерегулирования, а также выбрать требуемую устойчивость.

### § 8.5. ВЛИЯНИЕ УПРУГОСТИ КАНАТА НА СКОРОСТЬ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ

Ранее в § 7.5 было рассмотрено влияние упругости каната на работу двигателя подъемной машины во время разгона и равномерного хода. Эти вопросы частично входят в общую задачу создания работоспособных схем автоматического регулирования для шахтной подъемной машины, но дополнительно требуется решить еще ряд проблем, связанных с упругостью шахтного каната.

Если считать, что в настоящее время нашли наибольшее распространение следующие системы, в которых используют скорость машины, а в качестве исполнительного органа для создания движущих и тормозных усилий — двигатель, работающий в двигательном и режиме динамического торможения, и тормозная система, то необходимо рассмотреть следующее:

для двухконцевого подъема без хвостового каната в момент разгона машины во время выхода пустого подъемного сосуда из кривых двигатель будет развивать движущий момент, работая на первой и второй ступенях роторного сопротивления, причем имеются случаи отключения двигателя от сети для временного уменьшения движущего момента. Параллельно для поддержания заданной скорости применяют тормозную систему, дозирующую величину тормозного усилия для погашения излишка движущего усилия. В схемах, где предусматривается применение динамического торможения без использования тормозной системы, в этот период двигатель обычно работает только в двигательном режиме, а заданная скорость поддерживается переключением ступеней роторного сопротивления и кратковременного отключения двигателя;

в схемах с применением тормозной системы в период замедления машины при подходе груженого или пустого подъемного сосуда к верхней приемной площадке для двухконцевого подъема без уравнивающего каната используют обычно только тормозное усилие и лишь на подходе в момент входа подъемного сосуда в кривые может включаться двигатель для создания движущего усилия. В схемах с применением динамического торможения во время замедления двигатель работает в режиме динамического торможения и изредка переключается в двигательный режим;

в будущем не исключена работа автоматизированных подъемных машин при наличии промежуточного горизонта, для которого наиболее интересным будет замедление машины при подходе к промежуточному горизонту, когда возможна работа двигателя в двигательном режиме и одновременное применение тормозной

системы для создания тормозного усилия. В следящих системах с применением динамического торможения во время замедления двигатель будет использоваться как в двигательном, так и в режиме динамического торможения;

подъемные машины с хвостовым канатом, работающие на отводах без промежуточных горизонтов, частично уже рассматривались в § 7.5. Очевидно, это следует дополнить случаем, когда используется тормозная система. Чаще всего это происходит во время замедления груженого подъемного сосуда при подходе его к верхней приемной площадке;

при замедлении груженого подъемного сосуда при встрече сосудов в стволе (наличие промежуточного горизонта) следует рассмотреть два варианта: использование двигателя в двух режимах (двигательном и динамического торможения) и комбинацию работы двигателя в двигательном режиме с одновременным применением тормозной системы.

Перечисленные случаи работы подъемной установки одновременно выявляют те дополнительные условия работы подъемной установки, которые не были учтены в § 7.5, так как там рассматривалось только влияние работы двигателя на срок службы подъемного каната.

Дальнейший анализ, очевидно, целесообразно начать с наиболее простого случая — замедления подъемного сосуда при подходе его к верхней приемной площадке, когда одновременно используются двигатель для создания движущего момента и тормозная система для подтормаживания. Проводя теоретический анализ, примем следующие допущения:

вес груженого подъемного сосуда (или пустого при перегоне сосудов) и небольшого отрезка головного каната прибавлять к весу вращающихся частей машины. Порожний сосуд рассматриваем свободно висющим на полной длине головного каната;

в основной период замедления работает только тормозная система для создания тормозного усилия. Изменение тормозного усилия в момент подачи очередного импульса от системы регулирования происходит по экспоненциальному закону. Величина тормозного импульса зависит от величины рассогласования. Для перегона сосудов тормозной момент будет превышать величину номинального момента, достигая иногда полуторакратной величины номинального момента;

при подходе подъемного сосуда к разгрузочным кривым включается двигатель. Движущее усилие возникает мгновенно и в дальнейшем почти не меняется, так как в период дотягивания скорость остается практически постоянной;

отключение двигателя происходит первоначально в момент начала замедления, двигательное усилие снимается мгновенно, почти одновременно начинает возникать тормозное усилие, т. е. нет сдвига во времени между отключением двигателя и началом возникновения тормозного усилия.

Учитывая, что динамические усилия в головном канате верхнего сосуда не принимаются во внимание, подъем рассматриваем как одноконцевой, принципиальная и расчетная схемы для которого показаны на рис. 8.2. Начало координат принято в точке схода каната с барабана. Согласно схеме подъем может быть представлен двумя сосредоточенными массами и распределенной массой каната. Для определения динамических усилий, вызванных упругими свойствами каната, следует выяснить, как будут распространяться колебания в канате после отключения двигателя и возникновения тормозного усилия. Для облегчения решения целесообразно рассмотреть раздельно колебания, вызванные отключением двигателя, т. е. явления связанные со свободным выбегом, и колебания, появившиеся от тормозного усилия, а затем полученные результаты сложить.

Для определения величины колебаний, возникших от свободного выбега, необходимо решить уравнение

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - b^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - g - a = 0, \quad (8.16)$$

где  $u(x, t)$  — смещение поперечного сечения каната с абсциссой  $x$  в момент времени  $t$ ;  $b$  — скорость распространения упругой волны вдоль каната, определяемая из выражения

$$b^2 = \frac{ES}{q} g,$$

$E$  — модуль упругости каната [19];  $S$  — площадь поперечного сечения всех проволок каната;  $a$  — установившееся замедление после отключения двигателя.

Граничные и начальные условия могут быть представлены в виде

$$m \left( \frac{\partial^2 u(0, t)}{\partial t^2} + a \right) + ES \left[ \frac{\partial u_l(0, t)}{\partial x} - \frac{\partial u_x(0, t)}{\partial x} \right] = 0; \quad (8.17)$$

$$\frac{Q_c}{g} \left[ \frac{\partial^2 u(l, t)}{\partial t^2} - a \right] + ES \frac{\partial u(l, t)}{\partial x} = Q_c;$$

$$u(x, 0) = \frac{Q_c x}{ES} + \frac{gx}{2b^2} (2l - x); \quad \frac{\partial u(x, 0)}{\partial t} = 0. \quad (8.18)$$

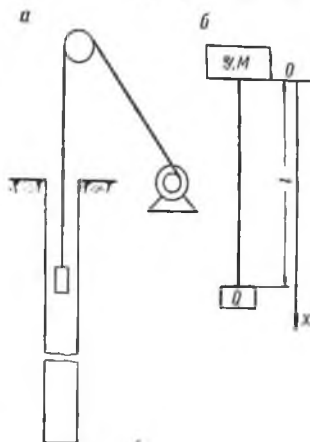


Рис. 8.2. Схема одноконцевого подъема:

$a$  — принципиальная;  $b$  — расчетная

Во время замедления длина каната изменяется незначительно (по сравнению с общей длиной головного каната), поэтому, считая ее неизменной, представим решение формулой

$$u(x, t) = \left[ \frac{Q_c x}{ES} + \frac{gx}{2b^2} (2l - x) \right] \left( 1 + \frac{a}{g} \right) + \frac{4G}{ES} \cdot \frac{a}{g} l \times \\ \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k)}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \operatorname{tg} \rho_k \cos \rho_k \frac{t}{\tau} \sin \rho_k \frac{x-l}{l} - \frac{4Q_c a}{ESg} l \times \\ \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_k}{\beta_k (2\beta_k + \sin 2\beta_k)} \cos \beta_k \frac{t+\tau}{\tau} \sin \beta_k \frac{x}{l}, \quad (8.19)$$

$Q_c$  — вес концевой нагрузки;  $l$  — длина отвеса каната;  $G$  — приведенный к ободу барабана вес вращающихся частей плюс вес сосуда и груза, находящихся у верхней приемной площадки. Следует помнить, что головной канат этого сосуда намотан на барабан и его вес входит в вес вращающихся частей;  $\rho_k$ ,  $\beta_k$  — собственные числа уравнения, определяемые равенствами

$$\rho_k \operatorname{tg} \rho_k = \frac{Q_k}{G}; \quad \beta_k \operatorname{tg} \beta_k = \frac{Q_k}{Q_c};$$

$Q_k$  — вес головного каната;  $\tau = \frac{l}{b}$  — время распространения упругой волны вдоль каната.

Решение уравнения (8.16) было получено при использовании методов акад. А. Н. Крылова [12], кроме того, учитывая, что оба конца каната подвижны и непосредственно использовать метод Фурье нельзя [11], были введены вспомогательные переменные, позволившие рассматривать колебания концов каната раздельно.

Для второй составляющей колебаний, когда они возникают под воздействием только тормозного усилия, необходимо решить уравнение

$$\frac{\partial^2 u_n}{\partial t^2} - b^2 \frac{\partial^2 u_n}{\partial x^2} - \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad (8.20)$$

с ппыми граничными и начальными условиями:

$$\left. \begin{aligned} m \left[ \frac{\partial^2 u_n(0, t)}{\partial t^2} + \frac{dv}{dt} \right] + ES \left[ \frac{\partial u_{n, \tau}(0, t)}{\partial x} - \frac{\partial u_{n, x}(0, t)}{\partial x} \right] &= 0; \\ \frac{Q_c}{g} \left[ \frac{\partial^2 u_n(l, t)}{\partial t^2} - \frac{dv}{dt} \right] + ES \frac{\partial u_n(l, t)}{\partial x} &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (8.21)$$

$$u(x, 0) = \frac{Q_c x}{ES} + \frac{gx}{2b^2} (2l - x); \quad \frac{\partial u(x, 0)}{\partial t} = 0. \quad (8.22)$$

Индекс «п» при переменной  $u(x, t)$  и постоянной  $a$  показывает, что рассматриваются только колебания, вызванные тормозным усилием. Переменная  $dv/dt$  характеризует изменение замедления

во время нарастания тормозного усилия, она может быть определена по формуле

$$\frac{dv}{dt} = \frac{P}{m_1} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) = a_n \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right), \quad (8.23)$$

где  $P$  — тормозное усилие;  $T$  — постоянная времени нарастания тормозного усилия.

Подставляя (8.23) в (8.20), получим уравнение с правой частью, его решение во многом сходно с предыдущим. Некоторые изменения вносит только правая часть, необходимые пояснения при решении таких уравнений даны в литературе [11, 12]. Общее решение уравнения

$$\begin{aligned} u_n(x, t) = & \left[ \frac{Q_c x}{ES} + \frac{gx}{2b^3} (2l - x) \right] \frac{a_n}{g} - \frac{4G}{ES} \frac{a_n}{g} l \times \\ & \times \sum_{k=1}^{\infty} \left[ \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k)}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \operatorname{tg} \rho_k \right] \times \\ & \times \left\{ \cos \rho_k \frac{t}{\tau} - \cos \varphi_k \left[ \cos \left( \rho_k \frac{t}{\tau} + \varphi_k \right) - e^{-\frac{t}{T}} \cos \varphi_k \right] \right\} \sin \rho_k \frac{x-l}{l} + \\ & + \frac{4Q_c}{ES} \cdot \frac{a_n}{g} l \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_k}{\beta_k (2\beta_k + \sin 2\beta_k)} \times \left\{ \cos \beta_k \frac{t+\tau}{\tau} - \cos \psi_k \times \right. \\ & \times \left. \left[ \cos \left( \beta_k \frac{t+\tau}{\tau} + \psi_k \right) - e^{-\frac{t}{T}} \cos \psi_k \right] \right\} \sin \beta_k \frac{x}{l}, \quad (8.24) \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi_k = \frac{\tau}{T \rho_k}; \quad \cos \varphi_k = \frac{T}{\sqrt{T^2 + \left(\frac{\tau}{\rho_k}\right)^2}}; \quad \operatorname{tg} \psi_k = \frac{\tau}{T \beta_k}; \quad \cos \psi_k = \\ = \frac{T}{\sqrt{T^2 + \left(\frac{\tau}{\beta_k}\right)^2}}. \quad (8.25) \end{aligned}$$

Собственные числа в уравнении (8.24) определяются формулами, использованными для определения собственных чисел в уравнении (8.19); таким образом, частота колебаний для обеих составляющих одинакова. Анализируя уравнения (8.19) и (8.24), можно заметить, что амплитуда и частота колебаний зависят от величины тормозного усилия, эта зависимость характеризуется постоянной величиной замедления  $a_n$ , замедления свободного выбега  $a$ , отношения массы каната к массе концевой нагрузки и отношения массы каната к массе вращающихся частей, приведенной к ободу навивки.

Если система хорошо налажена, то тормозное усилие, созданное регулятором вначале замедления, потом почти не изменяется, поэтому дополнительные колебания, возникающие вследствие небольших изменений тормозного усилия в процессе замедления, можно не учитывать.

Следует отметить, что при составлении уравнений (8.16) и (8.20) не учитывали вредных сопротивлений, поэтому в результирующих формулах (8.19) и (8.24) имеются только члены, характеризующие колебания, не затухающие во времени. В действительности вредные сопротивления ствола оказывают значительное влияние на затухание колебаний. Это можно заметить по кривым скорости свободного выбега, показанным на рис. 7.8, причем иногда через 5—7 с после начала колебаний они уже затухают (см. рис. 7.8, а и б). Обычно такие явления наблюдаются при рельсовых или коробчатых проводниках. При канатных проводниках вредные сопротивления значительно меньше, и затухание наступает через 12—15 с (см. рис. 7.8, в).

Из приведенных соображений следует, что в любом случае к моменту подхода подъемного сосуда к приемной площадке колебания в кривой скорости уже отсутствуют. Безусловно, такое утверждение будет справедливо только для тех случаев, когда система автоматического регулирования не поддерживает колебаний, возникающих в начале замедления. Перед входом подъемного сосуда в кривые очень часто происходит или включение двигателя, или включение очередного контактора, закорачивающего часть роторного сопротивления. В любом случае при таких включениях снова появятся колебания в канате, а иногда и колебания скорости. Характер этих колебаний вполне определяется формулой (8.19), так как в момент включения изменение нагрузки происходит почти мгновенно.

Характер колебаний скорости в момент выхода пустого сосуда из кривых рассматривался ранее в § 7.5. Сравнивая формулы, приведенные в § 7.5, с формулами (8.19) и (8.24), можно заметить, что для обоих случаев частота колебаний одинакова, а амплитуды различны, причем в большинстве случаев величина амплитуды колебаний в момент выхода подъемного сосуда из кривых будет больше, чем при входе его в кривые. Это объясняется двумя обстоятельствами: во-первых, при выходе пустого сосуда динамические усилия в канате возникают от колебаний груженого сосуда, а во-вторых, усилие, развиваемое двигателем для подъема груженого сосуда, тоже должно быть больше.

Для определения амплитуды колебаний скорости во время входа подъемного сосуда в кривые необходимо сложить результаты, полученные по формулам (8.19) и (8.24), и продифференцировать их по  $x$  для определения величины динамических усилий в канате и, подставив полученный результат в уравнение движения машины, после интегрирования найти кривую скорости машины во время замедления.

Выполняя первую часть операции, найдем величину усилия в канате

$$\begin{aligned}
 F_p(t) = & (Q_c + Q_k) \left(1 + \frac{a + a_n}{g}\right) - Q \left(1 - \frac{a + a_n}{g}\right) + \frac{4G}{g} l \times \\
 & \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k) \sin \rho_k}{2\rho_k + \sin 2\rho_k} \left\{ (a + a_n) \cos \rho_k \frac{t}{\tau} - a_n \cos \varphi_k \times \right. \\
 & \times \left[ \cos \left( \rho_k \frac{t}{\tau} + \varphi_k \right) - e^{-\frac{t}{T}} \cos \varphi_k \right] \left. - \frac{4Q_c}{g} l \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_k}{2\beta_k + \sin 2\beta_k} \times \right. \\
 & \times \left\{ (a + a_n) \cos \beta_k \frac{t + \tau}{\tau} - a_n \cos \psi_k \left[ \cos \left( \beta_k \frac{t + \tau}{\tau} + \psi_k \right) - \right. \right. \\
 & \left. \left. - e^{-\frac{t}{T}} \cos \psi_k \right] \right\}. \quad (8.26)
 \end{aligned}$$

Выполняя интегрирование уравнения движения машины, получим формулу для кривой скорости

$$\begin{aligned}
 v(t) = & v_0 - (a + a_n)t + 4\tau \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k) \sin \rho_k}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \times \\
 & \times \left\{ (a + a_n) \sin \rho_k \frac{t}{\tau} - a_n \cos \varphi_k \times \right. \\
 & \times \left[ \sin \left( \rho_k \frac{t}{\tau} + \varphi_k \right) - \frac{T}{\tau} e^{-\frac{t}{T}} \cos \varphi_k \right] \left. - \frac{4Q_c}{G} \tau \times \right. \\
 & \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_k}{\beta_k (2\beta_k + \sin 2\beta_k)} \left\{ (a + a_n) \sin \beta_k \frac{t + \tau}{\tau} - a_n \cos \psi_k \times \right. \\
 & \times \left[ \sin \left( \beta_k \frac{t + \tau}{\tau} + \psi_k \right) - \frac{T}{\tau} e^{-\frac{t}{T}} \cos \psi_k \right] \left. \right\}. \quad (8.27)
 \end{aligned}$$

Нетрудно видеть, что кривая скорости машины во время входа груженого сосуда в кривые может быть определена по формуле (8.27), если в ней принять  $a_n = 0$ .

В формулах обозначено:  $m$  — масса всех вращающихся и движущихся частей подъемной установки, приведенная к ободу навивки;  $Q$  — вес полезного груза и сосуда;  $T$  — постоянная времени нарастания тормозного усилия;  $G$  — вес вращающихся частей машины плюс вес одного головного каната, полезного груза и сосуда, приведенные к ободу навивки.

Составляя передаточную функцию схемы автоматического регулирования, влияние колебаний скорости, вызванных упругими

свойствами подъемного каната, можно учесть, используя формулу (8.27) и формулы для собственных чисел  $\rho_k$  и  $\beta_k$ . Дальнейший анализ схемы целесообразно выполнить позже на конкретном примере.

Если в схеме автоматического регулирования используется вместо тормозной системы только главный двигатель подъемной машины, работающий в режиме динамического торможения, то для анализа тоже можно использовать формулу (8.27). Действительно, при первоначальном включении постоянного тока в статор асинхронного двигателя во время перевода его в режим динамического торможения, нарастание тормозного усилия будет происходить по кривой, близкой к экспоненте (во всяком случае, это можно принять в инженерных расчетах). Дальнейшее изменение усилия, затормаживающего машину, будет зависеть от того, на какой части характеристики будет работать двигатель. Если управление осуществляется на максимумах тормозных характеристик, то переход с одной характеристики на другую происходит при малых изменениях тормозного усилия и колебания скорости практически будут отсутствовать. При использовании только устойчивой части характеристик изменение усилия в момент отключения очередной ступени роторного сопротивления может достигать двукратной величины, причем усилие будет изменяться почти мгновенно. Колебания, возникающие под влиянием такого изменения нагрузки, можно рассчитать по (8.27), если в ней принять  $a_n = 0$ . Дальнейшее изменение амплитуды колебаний будет зависеть от жесткости внешней характеристики. Если характеристика мягкая, что соответствует работе двигателя на первой — третьей ступенях роторного сопротивления, изменение амплитуды колебаний от жесткости характеристики можно не принимать во внимание. При работе на следующих ступенях роторного сопротивления следует использовать формулы, приведенные в § 7.5, так как наклон характеристик в режиме динамического торможения близок к наклону характеристик при работе в двигательном режиме. Для определения частоты колебаний следует использовать формулы для расчета собственных чисел.

Следует отметить еще одну особенность работы со схемами динамического торможения — во время переключения двигателя из одного режима в другой одновременно полностью вводится сопротивление в цепь ротора; таким образом, включение постоянного тока происходит при большом сопротивлении в роторе, вследствие чего начальный тормозной момент очень мал и процесс его нарастания практически не вызовет колебаний скорости. Дальнейшее изменение момента происходит во время выключения очередной ступени сопротивления. Таким образом, в режимах динамического торможения, применяемых для автоматического регулирования, расчет амплитуды колебаний скорости при работе на первой — третьей ступенях роторного сопротивления можно выполнять по (8.27), положив в ней  $a_n = 0$ , и по (7.40, если необ-

ходимо принять во внимание жесткость внешней характеристики.

Приведенные соображения показывают, что в дальнейшем можно рассматривать только работу схем, в которых предусмотрено использование двигателя в двигательном режиме и применение тормозной системы для создания тормозных усилий.

Рассматривая работу подъемных установок при наличии промежуточного горизонта, можно ограничиться случаем замедления подъемных сосудов во время встречи их в стволе, так как при всех остальных вариантах расположения горизонтов амплитуда колебаний скорости и их частота будут находиться в области, ограниченной подходом подъемного сосуда к верхней приемной площадке и встречей сосудов в стволе. Вместе с тем расчет колебания каната для произвольного расположения горизонтов сложнее и потребует затрат значительного времени.

Принципиальная и расчетная схемы для двухконцевого подъема показаны на рис. 8.3. В соответствии с приведенными обозначениями условимся, что за начало отсчета принята точка схода каната с барабана, причем отсчет в положительную сторону идет по направлению к сосуду с грузом  $Q_r$ , а в отрицательную — к пустому сосуду  $Q_c$ . Длины канатов  $l_r$  и  $l_c$  равны между собой и индекс при них опущен, так как изменением длины каната во время замедления подъемного сосуда пренебрегаем (учет этой длины слишком усложнит расчет, а полученные уточнения почти не повлияют на конечный результат). Сопротивления ствола тоже не приняты во внимание.

Для выяснения величины колебаний, возникающих в канатах, необходимо решить уравнения (свободный выбор):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 u_r}{\partial t^2} - b^2 \frac{\partial^2 u_r}{\partial x^2} - g + a &= 0; \\ \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} - b^2 \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} - g - a &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8.28)$$

с граничными и начальными условиями:

$$m \left[ \frac{\partial^2 u(0, t)}{\partial t^2} - a \right] + ES \left[ \frac{\partial u_r(0, t)}{\partial x} - \frac{\partial u_x(0, t)}{\partial x} \right] = 0; \quad (8.29)$$

$$\frac{Q}{g} \left[ \frac{\partial^2 u_r(l, t)}{\partial t^2} + a \right] + ES \frac{\partial u_r(l, t)}{\partial x} = Q_r + Q_c = Q; \quad (8.30)$$

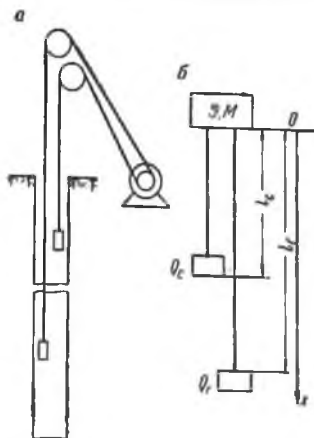


Рис. 8.3. Схема двухконцевого подъема:

а — принципиальная; б — расчетная

$$\frac{Q_c}{g} \left[ \frac{\partial^2 u_x(-l, t)}{\partial t^2} - a \right] + ES \frac{\partial u_x(-l, t)}{\partial x} = Q_c; \quad (8.31)$$

$$u_r(x, 0) = \frac{Qx}{ES} + \frac{gx}{2b^2} (2l - x); \quad \frac{\partial u_r(x, 0)}{\partial t} = 0; \quad (8.32)$$

$$u_x(x, 0) = \frac{Qcx}{ES} + \frac{gx}{2b^2} (2l + x); \quad \frac{\partial u_x(x, 0)}{\partial t} = 0. \quad (8.33)$$

Если не принимать во внимание влияние динамических усилий в одном канате на другой (см. приложение I), можно решение уравнений (8.28) представить в виде

$$\begin{aligned} u_l(x, t) = & \left[ \frac{Qx}{ES} + \frac{gx}{2b^2} (2l - x) \right] \left( 1 - \frac{a}{g} \right) - \frac{4G}{ES} \frac{a}{g} l \times \\ & \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k)}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \operatorname{tg} \rho_k \cos \rho_k \frac{t}{\tau} \sin \rho_k \frac{x-l}{l} + \frac{4Q}{ES} \frac{a}{g} l \times \\ & \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_{rk}}{\beta_{rk} (2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk})} \cos \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau} \sin \beta_{rk} \frac{x}{l}; \end{aligned} \quad (8.34)$$

$$\begin{aligned} u_x(x, t) = & \left[ \frac{Qcx}{ES} + \frac{gx}{2b^2} (2l + x) \right] \left( 1 + \frac{a}{g} \right) + \frac{4G}{ES} \frac{a}{g} l \times \\ & \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k)}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \operatorname{tg} \rho_k \cos \rho_k \frac{t}{\tau} \sin \rho_k \frac{x+l}{l} - \frac{4Q_c}{ES} \frac{a}{g} l \times \\ & \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_{xk}}{\beta_{xk} (2\beta_{xk} + \sin 2\beta_{xk})} \cos \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau} \sin \beta_{xk} \frac{x}{l}. \end{aligned} \quad (8.35)$$

Собственные числа уравнений (8.34) и (8.35) можно найти из формул:

$$\begin{aligned} \rho_k \operatorname{tg} \rho_k &= \frac{2Q_k}{G}; \quad \beta_{rk} \operatorname{tg} \beta_{rk} = \frac{Q_k}{Q}; \\ \beta_{xk} \operatorname{tg} \beta_{xk} &= \frac{Q_k}{Q_c}. \end{aligned} \quad (8.36)$$

Дифференцируя уравнения (8.34) и (8.35) по  $x$  и умножая на  $ES$ , найдем усилия в головных канатах:

$$\begin{aligned} F_r(t) = & (Q + Q_k) \left( 1 - \frac{a}{g} \right) - 4G \frac{a}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k)}{2\rho_k + \sin 2\rho_k} \times \\ & \times \sin \rho_k \cos \rho_k \frac{t}{\tau} + 4Q \frac{a}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_{rk}}{2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk}} \cos \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau}; \end{aligned} \quad (8.37)$$

$$\begin{aligned} F_x(t) = & (Q_c + Q_k) \left( 1 + \frac{a}{g} \right) + 4G \frac{a}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k) \sin \rho_k}{2\rho_k + \sin 2\rho_k} \times \\ & \times \cos \rho_k \frac{t}{\tau} - 4Q_c \frac{a}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_{xk}}{2\beta_{xk} + \sin 2\beta_{xk}} \cos \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau}. \end{aligned} \quad (8.38)$$

Используя формулы (8.36), следует помнить, что длина каната рассчитывается для случая встречи сосудов в стволе и вес каната будет равен весу 1 м каната, умноженному на эту длину.

Вторая составляющая колебаний каната, зависящая от тормозного усилия, может быть найдена при решении уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 u_{r, n}}{\partial t^2} - b^2 \frac{\partial^2 u_{r, n}}{\partial x^2} - \frac{dv}{dt} &= 0; \\ \frac{\partial^2 u_{x, n}}{\partial t^2} - b^2 \frac{\partial^2 u_{x, n}}{\partial x^2} + \frac{dv}{dt} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8.39)$$

с граничными и начальными условиями

$$m \left[ \frac{\partial^2 u_n(0, t)}{\partial t^2} - \frac{dv}{dt} \right] + ES \left[ \frac{\partial u_{r, n}(0, t)}{\partial x} - \frac{\partial u_{x, n}(0, t)}{\partial x} \right] = 0; \quad (8.40)$$

$$\frac{Q}{g} \left[ \frac{\partial^2 u_{r, n}(l, t)}{\partial t^2} + \frac{dv}{dt} \right] + ES \frac{\partial u_{r, n}(l, t)}{\partial x} = 0; \quad (8.41)$$

$$\frac{Qc}{g} \left[ \frac{\partial^2 u_{x, n}(-l, t)}{\partial t^2} - \frac{dv}{dt} \right] + ES \frac{\partial u_{x, n}(-l, t)}{\partial x} = 0; \quad (8.42)$$

$$u_{r, n}(x, 0) = \frac{Qx}{ES} + \frac{gx}{2b^2} (2l - x); \quad \frac{\partial u_{r, n}(x, 0)}{\partial t} = 0; \quad (8.43)$$

$$u_{x, n}(x, 0) = \frac{Qcx}{ES} + \frac{gx}{2b^2} (2l + x); \quad \frac{\partial u_{x, n}(x, 0)}{\partial t} = 0. \quad (8.44)$$

Методика решения уравнений (8.39) аналогична решению уравнения (8.20), поэтому, опуская промежуточные выкладки, сразу напишем окончательный результат:

$$\begin{aligned} u_{r, n}(x, t) = & \left[ \frac{Qx}{ES} + g \frac{x}{2b^2} (2l - x) \right] \frac{a_n}{g} - \frac{4G}{ES} \frac{a_n}{g} l \times \\ & \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k)}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \operatorname{tg} \rho_k \times \\ & \times \left\{ \cos \rho_k \frac{t}{\tau} - \cos \varphi_k \left[ \cos \left( \rho_k \frac{t}{\tau} + \varphi_k \right) - e^{-\frac{t}{T}} \cos \varphi_k \right] \right\} \sin \rho_k \times \\ & \times \frac{x-l}{l} + \frac{4Q}{ES} \frac{a_n}{g} l \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_{rk}}{\beta_{rk} (2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk})} \times \\ & \times \left\{ \cos \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau} - \cos \psi_k \left[ \cos \left( \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau} + \psi_k \right) - e^{-\frac{t}{T}} \cos \psi_k \right] \right\} \times \\ & \times \sin \beta_{rk} \frac{x}{l}; \end{aligned} \quad (8.45)$$

$$u_{x, n}(x, t) = \left[ \frac{Qcx}{ES} + \frac{gx}{2b^2} (2l + x) \right] \frac{a_n}{g} + \frac{4G}{ES} \frac{a_n}{g} l \times$$

$$\begin{aligned}
& \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k)}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \operatorname{tg} \rho_k \left\{ \cos \rho_k \frac{t}{\tau} - \cos \varphi_k \times \right. \\
& \times \left[ \cos \left( \rho_k \frac{t}{\tau} - \varphi_k \right) - e^{-\frac{t}{T}} \cos \varphi_k \right] \times \sin \rho_k \frac{x+l}{l} - \frac{4Q_c}{ES} \cdot \frac{a_n}{g} l \times \\
& \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_{xk}}{\beta_{xk} (2\beta_{xk} + \sin 2\beta_{xk})} \left\{ \cos \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau} - \cos \eta_k \times \right. \\
& \times \left[ \cos \left( \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau} + \eta_k \right) - e^{-\frac{t}{T}} \cos \eta_k \right] \sin \beta_{xk} \frac{x}{l}, \quad (8.46)
\end{aligned}$$

где

$$\left. \begin{aligned}
\operatorname{tg} \varphi_k &= \frac{\tau}{T\rho_k}; \quad \cos \varphi_k = \frac{T}{\sqrt{T^2 + \left(\frac{\tau}{\rho_k}\right)^2}}; \\
\operatorname{tg} \psi_k &= \frac{\tau}{T\beta_{rk}}; \quad \cos \psi_k = \frac{T}{\sqrt{T^2 + \left(\frac{\tau}{\beta_{rk}}\right)^2}}; \\
\operatorname{tg} \eta_k &= \frac{\tau}{T\beta_{xk}}; \quad \cos \eta_k = \frac{T}{\sqrt{T^2 + \left(\frac{\tau}{\beta_{xk}}\right)^2}}.
\end{aligned} \right\} \quad (8.47)$$

Дифференцируя уравнения (8.45), (8.46) и умножая на  $ES$ , получим усилия в головных канатах:

$$\begin{aligned}
F_{r, n}(t) &= -(Q + Q_K) \frac{a_n}{g} - 4G \frac{a_n}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k)}{2\rho_k + \sin 2\rho_k} \sin \rho_k \times \\
& \times \left\{ \cos \rho_k \frac{t}{\tau} - \cos \varphi_k \left[ \cos \left( \rho_k \frac{t}{\tau} + \varphi_k \right) - e^{-\frac{t}{T}} \cos \varphi_k \right] \right\} + 4Q \frac{a_n}{g} \times \\
& \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_{rk}}{2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk}} \left\{ \cos \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau} - \cos \psi_k \times \right. \\
& \times \left[ \cos \left( \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau} + \psi_k \right) - e^{-\frac{t}{T}} \cos \psi_k \right] \right\}; \quad (8.48)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{x, n} &= (Q_c + Q_K) \frac{a_n}{g} + 4G \frac{a_n}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k)}{2\rho_k + \sin 2\rho_k} \sin \rho_k \times \\
& \times \left\{ \cos \rho_k \frac{t}{\tau} - \cos \varphi_k \left[ \cos \left( \rho_k \frac{t}{\tau} + \varphi_k \right) - e^{-\frac{t}{T}} \cos \varphi_k \right] \right\} -
\end{aligned}$$

$$-4Q_c \frac{a_n}{g} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_{xk}}{2\beta_{xk} + \sin 2\beta_{xk}} \times \\ \times \left\{ \cos \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau} - \cos \eta_k \left[ \cos \left( \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau} + \eta_k \right) - e^{-\frac{t}{T}} \cos \eta_k \right] \right\}. \quad (8.49)$$

Подставляя данные из формул (8.37), (8.38), (8.48) и (8.49) в уравнение движения машины (8.50), мы получим после интегрирования с учетом начальных условий уравнение для кривой скорости (8.52):

$$m \frac{dv}{dt} + F_r(t) - F_x(t) + F_{r, n}(t) - F_{x, n}(t) - P = 0. \quad (8.50)$$

Следует иметь в виду, что в уравнении (8.50) в величину массы, приведенной к ободу навивки, включены только массы вращающихся частей, так как остальные массы учтены в остальных членах уравнения. Кроме того, во время преобразований было принято во внимание, что постоянная времени нарастания тормозного усилия  $T$  обычно находится в пределах 0,3—0,5 с, поэтому

члены уравнений, содержащие  $e^{-\frac{t}{T}}$ , затухают уже через одну — полторы секунды и для анализа явлений, происходящих во время замедления машины, не представляют интереса. Исходя из приведенных соображений, в уравнениях кривой скорости эти члены опущены. Для упрощения написания результирующих выражений введем следующие обозначения:

$$A_k = \frac{1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \sin \rho_k; \\ B_k = \frac{\operatorname{tg} \beta_k}{\beta_k (2\beta_k + \sin 2\beta_k)}. \quad (8.51)$$

С учетом принятых обозначений после интегрирования уравнения (8.50) получим равенство

$$v = v_0 - (a + a_n)t - 8\tau \sum_{k=1}^{\infty} A_k \left[ (a + a_n) \sin \rho_k \frac{t}{\tau} - a_n \cos \varphi_k \times \right. \\ \times \left. \sin \left( \rho_k \frac{t}{\tau} + \varphi_k \right) \right] + \frac{4Q}{G} \tau \sum_{k=1}^{\infty} B_{rk} \left[ (a + a_n) \sin \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau} - a_n \cos \psi_k \times \right. \\ \times \left. \sin \left( \beta_k \frac{t+\tau}{\tau} + \psi_k \right) \right] + \frac{4Q_c}{G} \tau \times \\ \times \sum_{k=1}^{\infty} B_{xk} \left[ (a + a_n) \sin \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau} - a_n \cos \eta_k \sin \left( \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau} + \eta_k \right) \right], \quad (8.52)$$

В существующих подъемных установках отношение массы концевой нагрузки к массе вращающихся частей изменяется в широких пределах, поэтому там, где отношение  $Q/G = 0,1 \div 0,2$ , колебания скорости почти незаметны (более подробно см. [30]), и наоборот, для отношений  $Q/G = 0,3 \div 0,5$  колебания видны очень хорошо и оказывают существенное влияние на наладку систем автоматического регулирования. Приведенные цифры дают одновременно возможность оценить влияние отдельных составляющих в уравнении (8.52) на суммарную величину колебаний. Для выяснения этого влияния рассмотрим несколько примеров, причем основное внимание уделим отношению частот колебаний, вызванных влиянием пустого сосуда, и вращающихся масс к частоте колебаний груженого сосуда.

В первом примере примем, что  $Q/G = 0,5$ , а во втором  $Q/G = 0,25$ . В обоих примерах рассмотрим два случая отношений веса пустого сосуда к груженому, а именно  $Q_x/Q_r = 0,75$  и  $Q_x/Q_r = 0,5$ . Результаты всех расчетов сведем в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Отношение частоты колебаний вращающихся масс к пустому сосуда  
к частоте колебаний груженого сосуда

| $Q/G$ | $Q_c/Q$ | $Q_k/Q$ | $\beta_r$ | $\beta_x$ | $\rho$ | $f_m/f_r$ | $f_x/f_r$ |
|-------|---------|---------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|
| 0,5   | 0,75    | 1       | 0,86      | 0,95      | 0,86   | 1         | 0,9       |
| 0,5   | 0,5     | 1       | 0,86      | 1,08      | 0,86   | 1         | 0,8       |
| 0,25  | 0,75    | 1       | 0,86      | 0,95      | 0,65   | 1,32      | 0,9       |
| 0,25  | 0,5     | 1       | 0,86      | 1,08      | 0,65   | 1,32      | 0,8       |
| 0,5   | 0,75    | 0,5     | 0,65      | 0,74      | 0,65   | 1         | 0,88      |
| 0,5   | 0,5     | 0,5     | 0,65      | 0,86      | 0,65   | 1         | 0,75      |
| 0,25  | 0,75    | 0,5     | 0,65      | 0,74      | 0,48   | 1,35      | 0,88      |
| 0,25  | 0,5     | 0,5     | 0,65      | 0,86      | 0,48   | 1,35      | 0,75      |

В таблице принято:

$G$  — приведенный к ободу навивки вес вращающихся частей;  
 $\beta_r, \beta_x, \rho$  — собственные числа в уравнении (8.52), подсчитанные по формулам (8.36);

$f_r, f_x, f_m$  — частота колебаний соответственно груженого сосуда, пустого сосуда и вращающихся масс.

Следует иметь в виду, что данные, приведенные в табл. 8.2, относятся к случаям, когда амплитуда колебаний скорости оказывает существенное влияние на режимы работы машины, вызывая незатухающие колебания с двойным размахом, превышающим 1—1,5 м/с как во время разгона, так и при замедлении машин, управляемых в функции скорости. У машин, имеющих большие массы вращающихся частей (отношение  $Q/G$  находится в пределах 0,1—0,2), двойной размах колебаний не превышает 0,3 м/с и зави-

спт в основном от колебаний концевых нагрузок, так как частота колебаний, вызванных вращающимися массами, уже значительно отличается от частоты колебаний груженого сосуда. Еще большее отличие между этими частотами будет в одноконцевом подъеме, так как собственные числа членов, определяющих колебания вращающихся масс, рассчитываются по формуле

$$\rho_k \operatorname{tg} \rho_k = \frac{Q_k}{G}, \quad (8.53)$$

т. е. будут раза в полтора (как минимум) меньше, чем у соответствующих членов для машин двухконцевого подъема.

Исходя из данных табл. 8.2, можно прийти к выводу, что во время движения сосудов по стволу общая частота колебаний скорости изменяется очень мало и только во время подходов подъемных сосудов к приемным площадкам отличается на 20—25% от частоты колебаний, возникающей во время встречи сосудов в стволе.

Высказанные соображения позволяют для ориентировочных расчетов, выполняемых наладчиками при изучении проекта, когда еще невозможно снять осциллограмму скорости и выяснить истинную частоту колебаний, использовать следующие приближенные формулы:

$$f = \frac{4\pi t}{\beta_{r(x)} + \rho}; \quad (8.54)$$

$$f = \frac{4\pi t}{\beta_r + \beta_k} \quad \text{или} \quad f = \frac{6\pi t}{\beta_r + \beta_x + \rho}, \quad (8.55)$$

где  $t$  — время распространения упругой волны вдоль каната. при длине каната 1000 м равное 0,23 с.

Формулой (8.54) следует пользоваться при подходе подъемного сосуда к приемной площадке, причем как величину  $\rho$ , так и  $\beta$  определяют по формуле (8.53). При определении величины  $\beta$  в числителе стоит вес головного каната, а в знаменателе вес подъемного сосуда, находящегося у нижней приемной площадки. При определении  $\rho$  — в числителе тот же вес каната, а в знаменателе вес вращающихся частей, приведенный к ободу навивки, плюс вес подъемного сосуда с грузом (или без него), находящегося у верхней приемной площадки.

Одну из формул (8.55) применяют для случаев встречи сосудов в стволе или, когда они находятся недалеко от этой точки; первая из формул (8.55) дает несколько увеличенный, а вторая уменьшенный результат. Обычно величина ошибки не превышает 10%. Расчет собственных чисел для формул (8.55) ведут по формулам (8.36). Формулы (8.54) и (8.55) пригодны, если  $Q/G \geq 0,3$ .

Обоснованием для приведенных рекомендаций послужило следующее:

практическое отсутствие влияния динамических усилий в одном головном канате на усилия в другом, так как ошибка в самом худшем случае не превышает 7%, а собственные числа остаются неизменными (см. приложение I);

большое количество осциллограмм, снятых на различных машинах, с последующим сравнением фактических величин с расчетными, вычисленными с помощью приведенных выше формул; незначительное изменение частоты колебаний для разных положений сосудов в стволе.

## МЕТОДЫ НАЛАДКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СХЕМ

## § 9.1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ ПО ПРОГРАММЕ НАЛАДКИ СХЕМЫ С АСИНХРОННЫМ ПРИВОДОМ

В настоящее время получили распространение два типа схем: с применением динамического торможения и с использованием тормозных систем. Возможна и комбинация их, однако на практике она почти не встречается. Выше были разобраны принципы наладки отдельных машин и аппаратов, встречающихся в этих схемах, а также изложены основные требования, предъявляемые к работе всей схемы и отдельных ее узлов. В дальнейшем будет изложен общий порядок работы и разобраны некоторые особенности наладки отдельных узлов.

Наладка схемы начинается с ознакомления с проектом и предварительного выяснения общей величины коэффициента усиления для ориентировочного определения величины ошибки при подходе подъемного сосуда к верхней приемной площадке. Обычно в проекте не приводятся расчеты по выбору общего коэффициента усиления и соответствующих коэффициентов отдельных узлов (ЭМУ, ПМУ, РДБВ с тормозной системой и т. д.). Отсутствуют также сведения по предварительной регулировке установочных сопротивлений. Все это наладчику приходится определять самостоятельно. Приводить в книге рекомендации по регулированию и выбору величины коэффициента усиления каждого узла применительно к конкретной схеме не имеет смысла, так как коэффициент усиления зависит не только от назначения узла, но определяется величиной скорости машины, характером нагрузки (только подъем груза, или подъем его и перегон пустых сосудов, или, наконец, подъем и спуск груза), выбором схемы стабилизации, величиной мертвых зон и постоянной времени узла и т. д. Совершенно очевидно, что при существующем большом количестве разнообразной аппаратуры, применяемой в схемах управления, и непрерывном ее совершенствовании, значительном диапазоне скоростей и концевых нагрузок у современных подъемных установок пойти несколько совершенно одинаковых схем, для которых можно рекомендовать одинаковую величину коэффициентов усиления и указать определенные границы для регулирования установочных сопротивлений, практически невозможно.

Вместе с тем общие принципы, используемые для выбора величины коэффициента усиления, остаются неизменными, поэтому

на конкретной установке наладчик должен руководствоваться только ими, глубоко изучить схему и условия работы установки, учесть достоинства и недостатки применяемого оборудования и на этом построить свою дальнейшую работу, стремясь все время к максимальному повышению производительности и безопасности в работе подъемной установки.

Вначале необходимо определить допустимую ошибку в подходе подъемного сосуда к приемной площадке. В общем случае для следящих систем автоматического регулирования скорости машины руководствуются формулой (8.1), задаваясь величиной ошибки по пути в процентах от общего пути замедления, по можно эту задачу решать, исходя из допустимого времени увеличения цикла. Как известно, проектные организации принимают в расчетах идеальный случай полного совпадения заданной и фактической скоростей машины. Достигнуть этого невозможно, и, приступая к наладке, следует сразу задаться допустимой величиной ошибки во времени цикла. Часть этого времени расходуется на отклонение от заданного времени разгона из-за потерь времени при движении сосуда в кривых, часть — из-за отклонений от заданной величины ускорения, но основное время теряется во время замедления при движении на пути дотягивания. Фактический путь дотягивания никогда не совпадает с заданной величиной, так как прибавляется ошибка, накопленная при замедлении подъемного сосуда вследствие отклонения фактической скорости от заданной. Наладчика и должна интересовать именно эта последняя часть ошибки во времени, в общей величине ошибки она обычно составляет 80—90%. Если не учитывать ошибки во времени разгона и равномерного хода, то ошибку по пути в период замедления можно рассматривать как дополнительный путь дотягивания, который не должен превышать величины, определяемой по формуле

$$\Delta h = v_d \frac{t_0 T}{100}, \quad (9.1)$$

где  $v_d$  — допустимая скорость дотягивания, м/с;  $t_0$  — допустимая величина ошибки во времени цикла, %;  $T$  — проектное время цикла, с.

Если считать, что во время замедления выполняется заданная диаграмма скорости и для наибольшего требуемого (на данном подъеме) тормозного усилия величина рассогласования между заданной и фактической скоростями остается постоянной, то ее можно определить по формуле

$$\Delta v = \frac{\Delta h}{t_3}, \quad (9.2)$$

где  $t_3$  — время замедления, принимаемое по проекту.

Пренебрегая влиянием мертвых зон на величину ошибки по времени и пути, общий коэффициент усиления системы

$$k = \frac{v_0}{\Delta v} \quad (9.3)$$

Приводимые формулы далеки от теоретических методов расчета и могут считаться эмпирическими, так как в режиме замедления почти никогда не требуется наибольшего рассогласования для создания требуемого тормозного момента, а фактическое рассогласование между заданной и фактической скоростями будет непрерывно колебаться от минимальной до максимальной величины. Кроме того, в приведенных рассуждениях не учитывались ошибка, возникающая при переходных процессах, и ошибка, зависящая от мертвых зон в отдельных аппаратах управления. Формулы дают усредненную ошибку, получаемую во время работы, причем очень часто эта ошибка может быть отнесена к более тяжелым условиям работы (например, у грузовых подъемов в режиме перегона пустых сосудов).

Полученная величина коэффициента усиления должна рассматриваться в качестве предварительной, на основании которой наладчик, приступая к наладке, будет выбирать коэффициенты усиления отдельных узлов схемы, учитывая при этом возможности каждого узла.

После ориентировочного выбора коэффициентов усиления отдельных узлов снимают характеристики каждого аппарата сначала без обратных связей, а затем при нескольких величинах обратных связей с наличием и без цепей стабилизации. Такой подробный анализ необходим, во-первых, для учета влияния мертвых зон и петель гистерезиса, а во-вторых, для выяснения скорости затухания колебаний, возникающих в момент подачи очередного импульса.

Одновременно выясняется влияние колебаний скорости, вызванных динамическими усилиями в головных канатах, на режим работы регулятора скорости. Следует подчеркнуть, что пока принимаем во внимание только предварительный учет колебаний, выполненный на основании теоретических расчетов при использовании формулы (8.53) и учете частоты колебаний, возникающих от влияния обратных связей. Сравнивая полученные частоты и учитывая их смещение во времени, а также запаздывание между сигналом входа и началом переходного процесса на выходе, можно памятить предварительные мероприятия по подавлению колебаний скорости.

После окончания этой работы имеется достаточно материала для того, чтобы, осуществляя испытание машины на холостом ходу (до навески головных канатов), выяснить работу каждого узла в схеме, окончательно выбрать коэффициент усиления и при необходимости ввести дополнительные отрицательные обратные связи для уменьшения колебаний в переходном процессе или усилить стабилизацию отдельных узлов и всей схемы в целом.

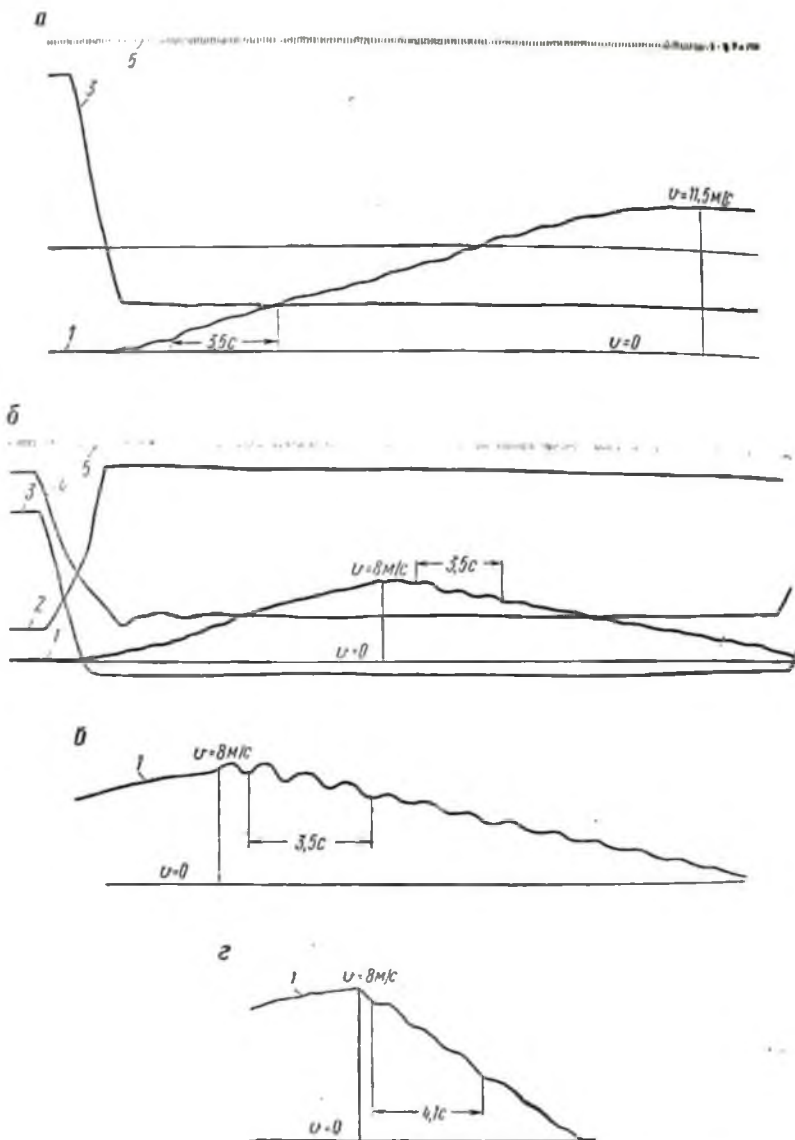


Рис. 9.1. Осциллограммы разгона и свободного выбега:

а — разгон при встрече судов на глубине 600 м, машина МК 4 × 4, концевой груз 7,5 тс, скорость 14,3 м/с; б — разгон и свободный выбег на глубине 1100 м, та же машина; в — свободный выбег на глубине 600 м, машина МК 4 × 4, концевой груз 7,5 тс, скорость 14,3 м/с,  $H = 1240$  м; г — свободный выбег, машина МК 5 × 4, скорость 6 м/с, концевой груз 30 тс; 1 — скорость; 2 — усилие в тяге тормоза; 3 — ход поршня тормоза; 4 — давление в подпоршневой полости рабочего тормоза; 5 — отметчик времени 0,1 с

Выбирая величину коэффициента усиления, следует помнить, что наибольший тормозной момент, создаваемый регулятором совместно с тормозной системой или двигателем, работающим в режиме динамического торможения, должен быть обязательно на 30—40% больше тормозного момента, предусмотренного в проекте для наиболее тяжелого режима замедления или для случая нахождения подъемного сосуда в кривых как во время разгона, так и при замедлении машины.

Второй этап наладочных работ выполняют после навески головных канатов. Наиболее эффективно он протекает для установок, имеющих сосуд с противовесом, так как в этом случае нет необходимости задерживать окончание наладки до появления груза. После навески канатов на малых скоростях снимаются осциллограммы переходных процессов при подаче однократного импульса в цепь задания. Осциллограммы должны быть сняты при отсутствии и наличии обратных связей. Кроме того, снимают осциллограммы свободного выбега при отключении двигателя в момент разгона машины и осциллограммы скорости во время разгона машины. Все эти осциллограммы целесообразно снимать для трех положений сосуда: в момент выхода его из кривых и дальнейшего движения по стволу (отключение двигателя после закорачивания четвертой или пятой ступени роторного сопротивления для снятия режима свободного выбега), при встрече сосудов в середине ствола и на подходе груженого сосуда к верхней приемной площадке. Отключение двигателя у верхней приемной площадки выполняют, чтобы путь свободного выбега был по крайней мере вдвое меньше, чем расстояние от сосуда до верхней приемной площадки.

Анализ этих осциллограмм позволяет определить диапазон изменений амплитуды и частоты колебаний скорости, возникших под влиянием упругих свойств канатов. У двухконцевых подъемных установок изменение частоты колебаний настолько незначительно, что в большинстве случаев за основу можно принять частоту колебаний при встрече подъемных сосудов в стволе. У многоканатных подъемных установок частота колебаний скорости вообще почти постоянна, но довольно значительно меняется амплитуда колебаний, получая наибольшие значения в момент встречи сосудов в стволе (рис. 9.1).

Сравнивая полученные данные с расчетными величинами, наладчик может проверить эффективность своих расчетов и выяснить необходимость в дальнейшей корректировке схемы регулирования для подавления колебаний скорости.

После выполнения всех корректировок, вызванных влиянием концевой нагрузки и колебаниями скорости, необходимо снять осциллограмму скорости для полного цикла и сверить результаты с проектными данными, чтобы оценить эффективность наладочных работ.

## § 9.2. ДИНАМИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ В СХЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В главе 7 уже отмечалось, что тормозное усилие, развиваемое двигателем в режиме динамического торможения, не постоянно по величине. Изменение тормозного момента зависит от величины магнитного потока статора, реакции магнитного потока, создаваемого ротором, и степени насыщения магнитопровода. На рис. 7.12 приведены кривые усилий при разных токах статора. До тех пор, пока не возникает насыщение магнитопровода, момент на одной и той же ступени роторного сопротивления изменяется незначительно, поэтому при небольших тормозных усилиях управление машиной можно вести при малом количестве ступеней роторного сопротивления, обеспечивая требуемую скорость подъема подъемного сосуда к приемной площадке. Но это справедливо только для небольших усилий и малых номинальных скоростей движения подъемного сосуда.

Кривые, показанные на рис. 7.12, дают величину тормозного момента или усилия в функции линейной скорости, но они справедливы только для одного передаточного числа редуктора при максимальной скорости машины 5,6 м/с. При изменении передаточного числа редуктора соответствующим образом меняется и масштаб скорости по линии ординат. Таким образом, чем выше номинальная скорость машины, тем большее число ступеней роторного сопротивления будет использовано в схеме регулирования. С увеличением тормозного усилия скорость на одной и той же ступени сопротивления также будет возрастать (на устойчивой ветви). С увеличением тормозного усилия четко проявляется и деление характеристик на устойчивую и неустойчивую ветви, поэтому по мере роста усилий и номинальных скоростей увеличивается число ступеней роторного сопротивления, необходимых для управления машиной в режиме автоматического регулирования.

Зная требуемое тормозное усилие, требуемую скорость подъема сосуда, номинальную скорость машины и имея характеристики двигателя в режиме динамического торможения, можно выбрать нужное число ступеней роторного сопротивления, а затем и характер их переключения, т. е. выбрать моменты перехода с одной ступени на другую с учетом величины развиваемого тормозного момента в определенной точке устойчивой части характеристики.

На последнем вопросе следует остановиться более подробно. Как известно, кривые моментов в режиме динамического торможения очень похожи на кривые моментов в двигательном режиме, поэтому, зная среднее тормозное усилие, можно легко определить границы изменения тормозного усилия на одной характеристике (при использовании только устойчивой ее части) и моменты переключения с одной характеристики на другую, если продолжать

вести управление работой двигателя при использовании только устойчивой части характеристик. В этом случае наибольший тормозной момент будет больше требуемого среднего на 25—30%. Соответствующим образом изменится и величина рассогласования

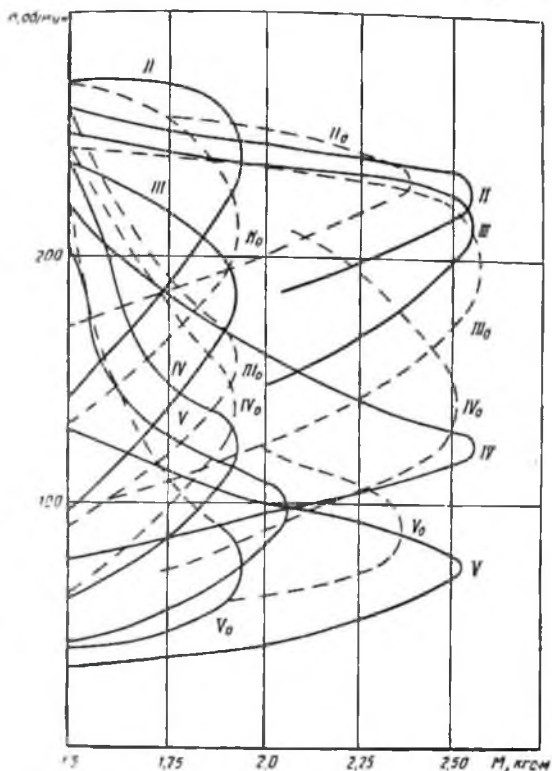


Рис. 9.2. Кривые изменения тормозного момента асинхронного двигателя в режиме динамического торможения

между фактической и заданной скоростями. Значительные колебания момента в процессе регулирования являются отрицательной чертой схемы с динамическим торможением. При переключении на очередную ступень сопротивления будут возникать переходные процессы, вызываемые броском момента, броском роторного тока и колебаниями подъемного сосуда, обусловленными упругими свойствами подъемного каната. Возникшие в этот момент колебания скорости необходимо будет погасить специальными средствами, предусмотренными для этой цели в схеме управления. Действие этих явлений можно также значительно уменьшить,

если вместо управления машиной на устойчивой части характеристик вести управление у максимумов тормозных характеристик.

Из условий полного использования оборудования также целесообразно вести управление у максимумов характеристик, используя часть устойчивой и часть неустойчивой ветви. В этом случае ток возбуждения и нагрев двигателя будут минимальными. Кроме того, переход к управлению у максимумов характеристик позволит на 20—25% уменьшить величину общего коэффициента усиления, т. е. создать более благоприятные условия для протекания переходного процесса. Выше уже отмечалось вредное влияние времени переходного процесса на точность подхода подъемного сосуда. Следует еще раз подчеркнуть, что если оно станет больше времени работы установки на одной ступени сопротивления, то управление может стать неустойчивым и точность подхода подъемного сосуда к месту разгрузки машины ухудшится. При работе на максимумах характеристик колебания тока управления незначительны и затухание переходного процесса до заданного предела тока возбуждения происходит намного быстрее и легко укладывается в заданное время.

Как следует из рис. 9.2, максимумы характеристик по мере увеличения тормозного момента значительно смещаются в сторону больших скоростей. Это явление становится особенно ощутимым при необходимости вести регулирование всех режимов работы (подъем и спуск груза). Так как переключение ступеней роторного сопротивления обычно ведется в функции скорости, то для уменьшения вредного влияния смещения максимумов целесообразно вести отрицательную обратную связь по напряжению ротора асинхронного двигателя. Такая связь значительно улучшит характеристики регулирования (см. штриховые линии на рис. 9.2). Для того чтобы окончательно выбрать количество ступеней роторного сопротивления, участвующих в работе, и выяснить необходимость введения отрицательной обратной связи, необходимо оценить фактические величины тормозного момента, развиваемого двигателем в режиме динамического торможения. Этот опыт целесообразнее всего вести до навески подъемных канатов.

Для построения кривых усилий в функции тока возбуждения прежде всего необходимо определить приведенную величину массы всех вращающихся частей, а затем уже построить требуемые кривые.

Для этого ставят опыты:

торможения машины противотоком с заранее заданной величиной его при включении реверсора, первого и второго контакторов магнитной станции, управляющей вводом сопротивления в цепь ротора;

выбега машины;

динамического торможения с токами возбуждения до  $i_b = 4I_{x.x}$  (с интервалом в  $0,5I_{x.x}$ ) на второй и третьей ступенях роторного сопротивления и при  $i_b = 2, I_{x.x}$  на каждой ступени,

если скорость превышает 10 м/с, и на первых пяти ступенях для скоростей до 10 м/с ( $I_{x, x}$  — ток х. х. асинхронного двигателя); сопротивлению роторной цепи каждой ступени, для чего двойным мостом постоянного тока проверяют пофазно его величину. Эти измерения проводят два раза (перед осциллографированием и после него), если сопротивления чугуновые, и один раз, если сопротивления фехралевые.

Для проведения опыта торможения противотоком вначале собирают схему измерения мощности и тока в роторной цепи двигателя. Включая двигатель при заторможенной машине, измеряют мощность при включении реверсора, первого и второго контакторов. Приведенное к тормозному ободу усилие, развиваемое двигателем в режиме противотока на скоростях, близких к нулю,

$$F_n = \frac{102 (P_1 + P_2 + P_3)}{v_0}; \quad (9.4)$$

$$F_n \approx \frac{I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3}{10 v_0}, \quad (9.5)$$

где  $P_1, P_2, P_3$  — мощность, расходуемая в фазах роторной цепи, кВт;  $I_1, I_2, I_3$  — ток в фазах роторной цепи, А;  $R_1, R_2, R_3$  — сопротивление в фазах роторной цепи, Ом;  $v_0$  — максимальная скорость машины, м/с.

Расчеты проводят для первых трех ступеней по обеим формулам (для взаимного контроля). Снимают осциллограммы скорости и времени для выбега машины без торможения и с торможением противотоком, проводя опыт до тех пор, пока двигатель не начнет вращаться в обратную сторону. Определяя из кривых величину замедления при скоростях, близких к нулю, для отрезков времени не более 0,2—0,3 с (желательно когда двигатель меняет направление вращения) и используя полученные данные, вычисляют маховую массу машины:

$$m = \frac{F_n}{\frac{\Delta v_n}{\Delta t_n} - \frac{\Delta v_p}{\Delta t_p}}, \quad (9.6)$$

где  $\Delta v_n, \Delta v_p$  — изменение скорости в режимах противотока и выбега соответственно за время  $\Delta t_n, \Delta t_p$ , м/с.

Расчет ведут по результатам опытов на первых трех ступенях, а затем усредняют полученный результат, считая его окончательным:

$$m_{cp} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3}. \quad (9.7)$$

Располагая фактическими данными о маховой массе машины, нетрудно теперь по кривым скорости в режиме динамического торможения определить развиваемые двигателем усилия:

$$F_d = m \left( \frac{\Delta v_d}{\Delta t_d} - \frac{\Delta v_n}{\Delta t_n} \right), \quad (9.8)$$

где  $\Delta v_d$  — изменение скорости при динамическом торможении за время  $\Delta t_d$ .

При осциллографировании масштабы скорости и времени следует выбрать так, чтобы можно было измерять отрезки скорости в 0,15—0,25 м/с, вычисляя время с точностью до 0,02—0,03 с.

В качестве примера на рис. 7.12 приведены кривые тормозных усилий, развиваемых двигателем мощностью 800 кВт при частоте вращения 246 об/мин, токе статора  $I_{ст} = 108$  А, токе х. х.  $I_{х.х.} = 65$  А, напряжении статора  $U_{ст} = 6$  кВ, токе ротора  $I_p = 655$  А, напряжении ротора  $U_p = 750$  В при токах возбуждения  $I_n = 50$  и 130 А.

Полученные кривые свидетельствуют о незначительном изменении тормозного усилия почти во всем диапазоне регулирования для токов, меньших или равных току х. х. Явно выраженный максимум начинается с четвертой ступени при токах, близких к полутора — двукратному току х. х. При малых скоростях (5—8 м/с) и работе на одном режиме (подъем груза, для которого тормозные усилия обеспечиваются токами возбуждения, близкими к однократному току х. х.) можно отказаться от управления роторными ступенями по скорости, применив регулирование по току статора.

Так как большинство установок, переведенных до настоящего времени в автоматический режим работы, обеспечивают только регулирование при подъеме груза, проектные институты обращают мало внимания на способы управления ступенями роторного сопротивления. С такой постановкой вопроса еще можно согласиться для установок с двумя сосудами, но для одного сосуда с противовесом, очевидно, необходимо ввести два режима работы: подъем груза и перегон пустых сосудов, так как неполная загрузка сосуда практически приближает работу установки именно к этому режиму, а, как было показано ранее, тормозное усилие, необходимое для поддержания заданной скорости при движении уравновешенных сосудов по крайней мере в три раза больше усилия, требуемого при подъеме нормального груза. Анализ проектов для установок сосуда с противовесом показывает, что для некоторых случаев необходимо вводить управление включением роторных сопротивлений по скорости и увеличивать число ступеней, используемых в режиме динамического торможения. Если это выполнить невозможно, следует за счет некоторого (правда, весьма небольшого) снижения производительности увеличить время замедления, приблизив величину замедления при подъеме проектного груза к замедлению свободного выбега. Для поддержания такого замедления при перегоне пустых сосудов (точнее при подъеме недогруженного сосуда) потребуется сравнительно небольшое тормозное усилие, и снова можно будет использовать малое количество ступеней роторного сопротивления, отказавшись одновременно от управления их включением в функции скорости.

В МакНИИ был разработан прибор, позволяющий сравнительно быстро (за 20—30 мин) измерить усилия в головных кана-

тах с точностью до 2—3%. Используя этот прибор, можно значительно проще и точнее определить величину маховой массы подъемной установки и массы вращающихся частей, приведенных к ободу навивки или ободу канатоведущего шкива многоканатной установки. Особенно высокую точность можно получить на многоканатных установках, оборудованных канатными проводниками. На таких установках при скоростях до 4—5 м/с можно не принимать во внимание вредные сопротивления ствола и машины, если для осциллографирования используют пленки с шириной до 35 мм, а при расчете вводят поправку в 3—5%. При осциллографировании на бумагу шириной 100 мм лучше ставить опыт с учетом вредных сопротивлений. Постановка опыта состоит в следующем:

загрузив подъемный сосуд, поднимают его до  $\frac{1}{4}$  глубины ствола и, включая осциллограф, одновременно отключают двигатель, осуществляя опыт свободного выбега. Сосуд должен остановиться только под влиянием веса груза и затем начать разогнаться. Не подтормаживая, доводят скорость до 4—5 м/с, а затем останавливают машину тормозом. Наклон кривой скорости при замедлении и разгоне будет несколько различен, так как во время замедления вредные сопротивления помогают остановить машину, а при разгоне уменьшают ускорение;

после остановки машины определяют натяжение каждого головного каната на загруженной и холостой ветвях; рассчитывают величину концевой нагрузки

$$P_n = \sum_1^n P_r - \sum_1^n P_x \quad (9.9)$$

где  $P_r$  — натяжение каната грузовой ветви;  $P_x$  — то же, со стороны пустого сосуда;  $n$  — число головных канатов; определяют среднюю величину замедления

$$a_{cp} = \frac{\frac{\Delta v_z}{\Delta t_z} + \frac{\Delta v_p}{\Delta t_p}}{2}, \quad (9.10)$$

где  $\Delta v_z$ ,  $\Delta v_p$  — изменение скорости соответственно при замедлении и разгоне за время  $\Delta t_z$ ,  $\Delta t_p$ ;

зная величину среднего замедления свободного выбега и величину концевой нагрузки, определяют сумму всех масс, приведенную к ободу канатоведущего шкива,

$$m_n = \frac{P_n}{a_{cp}}. \quad (9.11)$$

Аналогичные измерения и расчеты следует повторить при встрече сосудов в стволе и после подъема груза на  $\frac{3}{4}$  высоты ствола. В результате получим три значения приведенной массы:

если они не отличаются более чем на 5—7% друг от друга, определим среднее значение по формуле (9.7).

Располагая величиной приведенной массы, нетрудно определить приведенное значение массы всех вращающихся частей машины и двигателя

$$m = m_n - \frac{\sum_1^n P_r + \sum_1^n P_x}{g} \quad (9.12)$$

и полученную величину сверить с каталожными данными, предварительно приведя их к ободу навивки или канатоведущему шкиву. Знание приведенной величины массы вращающихся частей необходимо для дальнейших расчетов величины амплитуды и частоты колебаний скорости по формулам, указанным в главах 7 и 8.

Имея данные, характеризующие проектную и действительные величины тормозного усилия, приведенной массы всех вращающихся и движущихся поступательно частей подъемной установки, размеры мертвых зон вследствие петли гистерезиса, зависимость  $U_{ст} = f(i_n)$  и зная степень тепловой стабилизации, можно определить требуемый ток статора, задаваясь допустимой разностью между фактическим и заданным напряжением  $\Delta U$  и скоростью  $\Delta v$  [см. формулу (9.2)]. Коэффициент усиления определяют по (9.3), а затем находят ток статора, создающий наибольшее усилие,

$$I_{ст} = \kappa \frac{\Delta U}{2R_\phi} = \frac{U_{ст}}{2R_\phi}, \quad (9.13)$$

где  $U_{ст}$  — напряжение на статоре асинхронного двигателя при наибольшем токе;  $R_\phi$  — омическое сопротивление одной фазы статора.

Для снижения времени переходных процессов  $\kappa$  следует выбирать так, чтобы созданное тормозное усилие было в 1,5—2,5 раза больше проектного.

Вместе с тем при напряжении  $\Delta U$  в задающей обмотке ЭМУ (ПМУ), если она включена на разность фактического и заданного напряжений, должен пройти ток возбуждения, обеспечивающий требуемое напряжение на статоре асинхронного двигателя. Зная сопротивление цепи задающей обмотки, ток возбуждения определяют по формуле

$$i_n = \frac{\Delta U}{r}. \quad (9.14)$$

Используя зависимость  $U_{ст} = f(i_n)$  из семейства кривых с разной величиной тока обратной связи, выбирают наиболее подходящую, окончательно определив тем самым величину тока обратной связи и ширину петли гистерезиса.

Получив все исходные данные, необходимо проверить устойчивость системы, построив амплитудно- и фазово-частотные логарифмические характеристики, и, если необходимо, ввести требуемые корректировки в отдельные звенья схемы.

### § 9.3. ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ В СХЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В качестве примера использования теоретических расчетов и экспериментального материала рассмотрим паладку отдельных узлов схемы автоматического регулирования скорости машины с помощью тормозного устройства. Схема налаживалась на шахте глубиной 700 м на многокапальной подъемной машине с двух-двигательным приводом. Так как до настоящего времени подобные схемы не претерпели изменений, все работы, проведенные шесть лет назад, не потеряли своего значения и разобранный ранее пример по-прежнему может оказать помощь паладчикам при проведении аналогичных паладок.

Основные характеристики машины следующие:

|                                                                                                                                                      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Масса полезного груза, т:                                                                                                                            |      |
| по контрольным измерениям . . . . .                                                                                                                  | 14   |
| по проекту . . . . .                                                                                                                                 | 12   |
| Масса скипа (утяжеленного), т . . . . .                                                                                                              | 13,8 |
| Скорость движения скипа, м/с . . . . .                                                                                                               | 11,3 |
| Масса 1 м кабеля, кг:                                                                                                                                |      |
| головного . . . . .                                                                                                                                  | 3,1  |
| хвостового . . . . .                                                                                                                                 | 6,05 |
| Число кабатов:                                                                                                                                       |      |
| головных . . . . .                                                                                                                                   | 4    |
| хвостовых . . . . .                                                                                                                                  | 2    |
| Мощность двигателя, кВт . . . . .                                                                                                                    | 1250 |
| Число двигателей . . . . .                                                                                                                           | 2    |
| Приведенная к ободу канатоведущего шкива масса всех движущихся частей подъемной установки (с учетом полезного груза), тс·с <sup>2</sup> /м . . . . . | 11,2 |
| Ускорение, м/с <sup>2</sup> :                                                                                                                        |      |
| при выходе из кривых . . . . .                                                                                                                       | 0,3  |
| в период разгона . . . . .                                                                                                                           | 0,75 |
| Замедление, м/с <sup>2</sup> . . . . .                                                                                                               | 0,7  |
| Номинальный момент двигателя, приведенный к канатоведущему шкиву, тс·м . . . . .                                                                     | 16,4 |
| Номинальное усилие, развиваемое двумя двигателями на ободу канатоведущего шкива, тс: . . . . .                                                       | 20   |
| Усилие, развиваемое двигателем, тс                                                                                                                   |      |
| при включении реверсора . . . . .                                                                                                                    | 6,7  |
| после отключения первой ступени роторного сопротивления . . . . .                                                                                    | 34,4 |

Для достижения наибольшего приближения фактического времени работы машины в течение одного цикла к проектному пришлось разработать специальную схему для регулирования: скорости разгона скипа при движении его в кривых (подъем груза и перегон пустых сосудов);

скорости замедления на всем пути от начала замедления до полной остановки в разгрузке.

Кроме того, были введены некоторые виды защит для повышения надежности работы.

Разгон скипа от момента выхода его из кривых и до разгона до полной скорости, а также движение с полной скоростью не

рассматриваем, так как они осуществлялись по типовым схемам и в особых пояснениях не нуждаются.

Схема регулятора хода приведена на рис. 9.3, его работа протекает следующим образом.

*Разгон машины при движении скипа в кривых.* В аппарате АКХ для управления датчиками скорости ДЗСВ и ДЗСЗ предусмотрено два профиля, причем каждый из них имеет две ветви разгона и замедления, их можно использовать только при работе электромагнитных муфт, включающих ретардирующие диски в момент начала соответствующего режима. Однако практика палатки и временной эксплуатации показала низкую надежность электромагнитных муфт. Катушки муфт часто выходят из строя, а момент включения бывает неточным, что на глубине 700 м и более приводит к ошибкам в 1—2 м, поэтому оказалось целесообразным исключить муфты и закрепить профили наглухо, обеспечив тем самым их непрерывное вращение. Но это привело к необходимости уменьшить масштаб профиля, построить его заново и отказаться от управления разгоном, так как часть профиля разгона накладывалась на профиль замедления.

Вместо этого было предусмотрено управление выходом скипа из кривых с постоянной скоростью. Для этого в задающую обмотку управления ОУП через сопротивление  $R8$  подается напряжение, снимаемое с потенциометра СП. Если не принять специальных мер, схема обеспечит нормальный выезд скипа только при подъеме груза. Если происходит перегон пустых сосудов, то выезд скипа из кривых может произойти с повышенной скоростью (до 1,5 м/с). Это объясняется тем, что растормаживание машины происходит после включения первого контактора, а обратная связь от тахогенератора начинает действовать с запозданием, определяемым постоянными времени машины. За это время скорость успевает увеличиться до 1—1,5 м/с, так как сопротивление при подъеме порожнего скипа значительно меньше. Возникающий бросок скорости уменьшается вводом реле РСР.

Первоначально ток в обмотке ОУП регулируют сопротивлением  $R8$  так, чтобы обеспечивалось тормозное усилие, ограничивающее скорость движения скипа до 0,5 м/с до тех пор, пока не сработает реле РСР и своим контактом не зашунтирует часть сопротивления  $R8$ , что вызовет снижение тормозного момента. Реле РСР отключается блок-контактом контактора У2 (на рис. 9.3 не показано) в момент его включения, после чего с выдержкой времени в 1,5 с замыкает свой контакт, шунтирующий часть сопротивления  $R8$ .

Таким образом, порожний скип почти 2 с будет двигаться в кривых со скоростью, не превышающей 0,5 м/с. За это время затвор скипа успеет нормально закрыться, и выход из кривых произойдет без толчков. Следует отметить, что при груженом скипе в начале движения искусственно увеличится время цикла на 1—1,5 с, так как груженный скип начнет двигаться со скоростью 0,5 с

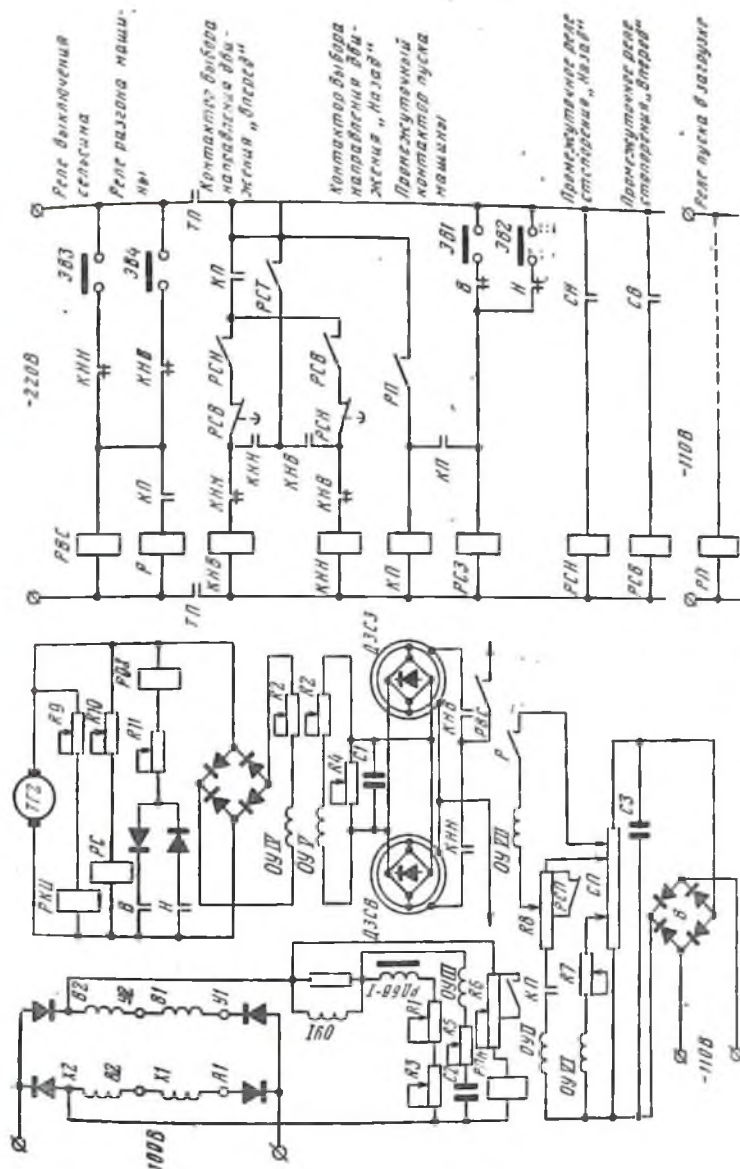


Рис. 9.3. Принципиальная схема регулятора хода с использованием механического тормоза

только после замыкания контакта *РСII*. Этого недостатка схемы избежать нельзя, так как при исключении реле *РСII* могут возникнуть удары при выходе из кривых при подъеме недогруженного скипа или перегоне пустых сосудов. После выезда скипа из кривых одним из этажных выключателей *ЭВ3* или *ЭВ4* включаются контактор *РВС* и реле разгона *Р*. Контактор включает в работу один из датчиков заданного замедления *ДЗСВ* или *ДЗСЗ*, а реле *Р* — обмотку *ОУVII*, подающую команду на полное растормаживание машины. Реле *РВС* остается включенным до конца цикла.

С момента включения одного из датчиков в обмотке *ОУV* будет периодически изменяться сила тока из-за воздействия постоянно вращающегося профиля на угол поворота сельсина. Однако обмотка *ОУV* не влияет на режим торможения благодаря тому, что одновременно с ней остаются включенными обмотки *ОУII* и *ОУVII*. Их суммарная н. с. полностью компенсирует действие н. с. обмотки *ОУV*.

*Замедление машины.* Реле *РII*, находящееся в загрузке, замыкает свой контакт только после загрузки скипа и размыкает его сразу же после начала движения. Контактор *КII* остается включенным по параллельной цепи через один из этажных выключателей *ЭВ1* и *ЭВ2* (в зависимости от направления движения). Этажный выключатель разомкнется в момент начала замедления, вызвав отключение контактора *КII*. Одновременно будут отключены реле *Р* и обмотка *ОУII*. Реле *Р* своим контактом отключит обмотку *ОУVII*. Таким образом, с момента начала замедления работать будет только один из датчиков заданной скорости *ДЗСВ* или *ДЗСЗ*.

Одновременно с работой этажных выключателей *ЭВ1* и *ЭВ2* срабатывает еще один этажный выключатель (не показанный на рис. 9.3), вызывая отключение контакторов *У2* и *У8*, управляющих включением ступеней сопротивления роторной цепи; поэтому с момента начала замедления будет включен один из двигателей, работающий на первой ступени роторного сопротивления, и начнется регулирование скорости с помощью тормоза. Величина тормозного усилия зависит от разности н. с. обмоток *ОУIV* и *ОУV*, отражающих фактическую и заданную скорости.

Практика наладки показала, что вес груза в скипе колеблется в пределах 10—14 тс вместо проектных 12 тс, поэтому в работу пришлось ввести вторую ступень роторного сопротивления. Ее включением управляет реле *РПП* (не показано), работающее в функции рассогласования фактической и заданной скоростей.

Размыкающий контакт реле *РР* увеличивает коэффициент возврата реле *РПП*. Само реле *РР*, управляемое блок-контактами контактора *У2*, на рис. 9.3 не показано.

Описание действия регулятора хода было дано предварительно, для того чтобы облегчить понимание последовательных операций наладки, так как имеется возможность следить за

отдельными узлами схемы, понимая, какую роль они играют в общем процессе регулирования. В действительности схема, показанная на рис. 9.3, была получена на заключительном этапе наладки.

Иногда делают наоборот, т. е. создают схему, при которой тормозное усилие будет увеличиваться по мере уменьшения несогласования. В этом случае заданная скорость будет фактической и проектный путь должен соответствовать пути замедления порожнего сосуда. Такая схема может вызывать ложные срабатывания и возбуждения колебаний, однако по коэффициенту использования катушек регулятора давления РДБВ она имеет некоторые преимущества при управлении тормозом с пружинно-грузовым приводом. Кроме того, при использовании такой схемы возникают отказы в управлении из-за внезапных бросков скорости (колебания скорости, вызванные влиянием упругости каната, броски скорости при внезапном изменении нагрузки в период маневров и т. д.), так как при больших величинах рассогласования между фактической скоростью и заданной тормозное усилие практически исчезает

и для предотвращения аварии необходимо срабатывание предохранительной защиты с последующим предохранительным торможением машины.

На основании сделанных замечаний становится ясным и способ использования катушек регулятора РДБВ. Одну из них подключают к постоянному напряжению, регулируя ток установочным резистором. Сила тока выбирается так, чтобы была перекрыта мертвая зона и создавалось уменьшение тормозного усилия до значений, близких к величинам, гарантированно обеспечивающим торможение перегруза пустых сосудов с одним включенным двигателем.

Приступая к наладке, прежде всего выясняют характеристики отдельных узлов, снимают нагрузочную характеристику магнитного усилителя и характеристику регулятора давления (рис. 9.4).

На рис. 9.4 приведены усредненные кривые для всех катушек РДБВ, так как они нужны только для оценки возможностей каждой катушки для целей автоматического регулирования, т. е. какую разность напряжения необходимо подать на зажимы катушки для получения заданной величины давления в рабочем тормозном цилиндре. При этом имелось в виду, что действительное

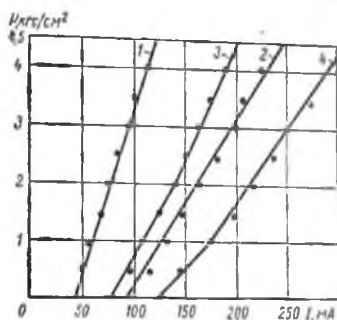


Рис. 9.4. Характеристика регулятора РДБВ (без учета мертвой зоны):  
1 — последовательное соединение катушек; 2 — параллельное соединение их;  
3 — катушка 1; 4 — катушка 2

давление будет колебаться в пределах мертвой зоны катушки, так как действительные кривые РДБВ имеют характер ступенчатой петли гистерезиса.

Из кривых, показанных на рис. 9.4, ясно, что имеется значительная мертвая зона от 75 до 125 мА, только после преодоления которой начинается растормаживание машины. Кроме того, в начальный период растормаживания усилия настолько велики, что они, по сути дела, являются продолжением мертвой зоны. Наконец, с ростом тока в катушке РДБВ увеличивающееся давление характеризует снижение тормозного усилия, так как в пружинно-грузовом приводе затормаживание происходит при снижении

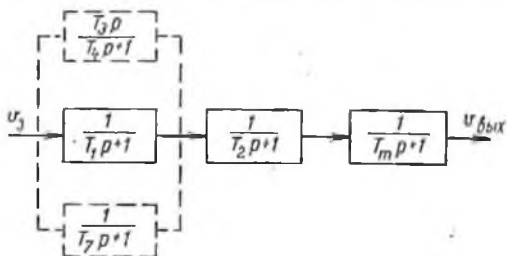


Рис. 9.5. Структурная схема регулятора хода

давления в рабочем тормозном цилиндре. Обычно в соответствии с законом регулирования увеличение рассогласования между заданной и фактической скоростями должно соответствовать увеличению тормозного момента, так как фактическая скорость должна быть больше заданной и путь замедления от момента отключения этажного выключателя до остановки подъемного сосуда у разгрузки должен равняться пути замедления порожнего сосуда. Таким образом, при подъеме груза сосуд на меньшем пути достигнет минимальной скорости, и оставшийся отрезок пути будет той ошибкой, которая, ликвидируясь на малой скорости, вызывает удлинение цикла во времени.

На характеристике второй катушки точка начала координат теперь сместилась. Она перенесена в точку, соответствующую давлению воздуха в рабочем цилиндре, созданному первой катушкой. Обычно новое начало координат выбирается в точке с давлением, близким к 1,5 кгс/см<sup>2</sup>, поэтому если для регулирования использовать катушку 1 (см. кривую 3 на рис. 9.4), то изменению давления от 1,5 до 5 кгс/см<sup>2</sup> будет соответствовать изменение тока от нуля до 80 мА. В соответствии с нагрузочной характеристикой магнитного усилителя все управление будет протекать при токах 0—0,8 мА. Если принять допустимую ошибку равной 3%, то, используя формулу (8.1), получим ожидаемую ошибку в пути, равную 2,7—3 м, что соответствует рассогласованию  $\Delta v = 0,2$  м/с. Для получения такого рассогласования необходим коэффициент усиления  $k = 56$  [см. формулу (9.3)].

Если считать, что тахогенератор обеспечивает напряжение равное 220 В, то такому коэффициенту усиления будет соответствовать напряжение 4 В.

После предварительного выбора коэффициента усиления необходимо проверить его устойчивость.

На основании рис. 9.3 составляем структурную схему разомкнутой системы. Условимся коэффициенты усиления отдельных узлов заменить общим, указанным выше, поэтому надо написать уравнение для отдельных звеньев уже без учета их коэффициентов усиления. По структурной схеме, изображенной на рис. 9.5, видно, что необходимо написать уравнение для трех звеньев, не имеющих обратных связей (выше указывалось, что обмотки *ОУІІ* и *ОУУІІІ* отключены). Обратные связи, осуществляемые с помощью обмоток *ОУІ* и *ОУІІІ*, пока не рассматриваем. Уравнение для первого звена ПМУ имеет вид

$$\frac{u_{\text{вх}}}{u_{\text{вх}}} = \frac{1}{T_1 p + 1}, \quad (9.15)$$

где  $u_{\text{вх}}$  — напряжение, подаваемое в ПМУ и пересчитанное с учетом н. с. катушек *УІ* и *У* (на рис. 9.3 не показаны) и их сопротивлений;  $u_{\text{вых}}$  — напряжение, подаваемое на вход катушки регулятора давления РДБВ.

По каталожным данным  $T_1 = 0,25$  с.

Из осциллограмм протекания процессов торможения у машин с регуляторами давления РДБВ (см., например, [29], рис. 24), можно считать, что постоянная времени системы регулятор — тормозная система подъемной машины будет при растормаживании 0,5—0,55 с и затормаживании 0,45—0,5 с. Период, относящийся к выбору зазоров, не учитывается, поэтому постоянная времени определяется по кривой движения поршня, начиная с момента соприкосновения тормозных колодок с ободом и до полного тормозного усилия. Такое решение можно принять, учитывая, что во время регулирования при замедлении машины от полной скорости и до ее окончательной остановки зазоры в тормозной системе выбирают один раз в самом начале замедления, а затем колодки уже не отходят от обода. Кроме того, скорость движения поршня в момент ликвидации зазоров значительно больше, чем в период нарастания тормозного усилия, и если бы мы принимали во внимание всю кривую движения поршня от момента подачи импульса на затормаживание, то найденная в этих условиях постоянная времени не соответствовала бы истинному положению в процессе регулирования.

Принимая  $u_{\text{вх}2}$  — напряжение, подводимое к катушке регулятора РДБВ;  $u_{\text{вых}2}$  — тормозное усилие на ободу барабана, можем написать

$$\frac{u_{\text{вх}2}}{u_{\text{вх}2}} = \frac{1}{T_2 p + 1}, \quad (9.16)$$

примем  $T_2 = 0,5$  с.

Для нахождения постоянной времени третьего звена напишем уравнение движения машины при включенном двигателе, но до возникновения тормозного усилия

$$m \frac{dv}{dt} - F_d + F_r = 0, \quad (9.17)$$

где  $m$  — масса всех движущихся и вращающихся частей машины, приведенная к ободу барабана;  $F_r$  — вес груза;  $F_d$  — усилие, развиваемое двигателем и приведенное к ободу барабана. Его определяют по формуле

$$F_d = F_{д.н} \frac{R_n}{R} \cdot \frac{v_0 - v}{v_0}, \quad (9.18)$$

где  $F_{д.н}$  — номинальное усилие, развиваемое двигателем;  $R_n$  — сопротивление цепи ротора при номинальном моменте, развиваемом заторможенным двигателем;  $R$  — сопротивление цепи ротора на соответствующей ступени.

Обозначим:

$$F_{д.н} \frac{R_n}{R} - F_r = F_T; \quad (9.19)$$

$$\frac{m R v_0}{F_{д.н} R_n} = T_m, \quad (9.20)$$

где  $F_T$  — требуемое тормозное усилие;  $T_m$  — электромеханическая постоянная времени.

Учитывая, что

$$v = u_T \frac{v_0}{u_0} = u_{вхз}, \quad (9.21)$$

получим

$$\frac{u_{вхз}}{u_{вхз}} = \frac{1}{T_m p + 1}. \quad (9.22)$$

Учитывая, что для облегчения расчетов не были приняты во внимание постоянные коэффициенты, так как в конечном счете их произведение должно дать коэффициент усиления разомкнутой системы, а он был выбран предварительно равным  $\kappa = 56$ , получим окончательно

$$\frac{u_{вхз}}{u_{вхз}} = \frac{\kappa}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}. \quad (9.23)$$

Используя данные об установке, после подстановки их в формулу (9.20) получим  $T_m = 12,5$  с. Пользуясь общепринятыми методами построения амплитудно- и фазово-частотных логарифмических характеристик, определим частоты, соответствующие всем постоянным времени,

$$\omega = \frac{1}{T}. \quad (9.24)$$

После подсчета получим, что  $\omega_1 = 4$ ;  $\omega_2 = 2$  и  $\omega_m = 0,08$ . Для расчета суммарного фазового смещения в функции частоты используем формулу

$$\theta = -\arctg \omega T_1 - \arctg \omega T_2 - \arctg \omega T_m \quad (9.25)$$

и, наконец, избыток фазы

$$\gamma = 180^\circ + \theta. \quad (9.26)$$

Все вспомогательные расчеты сведем в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Величина смещения и избытка фазы в зависимости от частоты

| $\omega$ | $\lg \theta_1 = \omega T_1$ | $\omega T_2$ | $\omega T_m$ | $-\theta_1^*$  | $-\theta_2^*$ | $-\theta_3^*$ | $\theta^*$ | $\gamma^*$ |
|----------|-----------------------------|--------------|--------------|----------------|---------------|---------------|------------|------------|
| 0,01     | 0,0025                      | 0,005        | 0,125        | $-10'$         | $20'$         | $7^\circ 10'$ | $-8$       | $+172$     |
| 0,05     | 0,0125                      | 0,025        | 0,625        | $-40'$         | $1^\circ 20'$ | 32            | $-34$      | $+146$     |
| 0,1      | 0,025                       | 0,05         | 1,25         | $-1^\circ 30'$ | $2^\circ 50'$ | 51            | $-55$      | $+135$     |
| 0,5      | 0,125                       | 0,25         | 6,25         | 7              | 14            | 81            | $-103$     | $+77$      |
| 1        | 0,25                        | 0,5          | 12,5         | 14             | 27            | 85            | $-126$     | $+54$      |
| 5        | 1,25                        | 2,5          | 62,5         | 51             | 68            | 90            | $-209$     | $-29$      |
| 10       | 2,5                         | 5,0          | 125          | 68             | 79            | 90            | $-237$     | $-57$      |
| 50       | 12,5                        | 25           | 625          | 85             | 88            | 90            | $-263$     | $-83$      |
| 100      | 25                          | 50           | 1250         | 88             | 89            | 90            | $-267$     | $-87$      |

На основании полученных данных на рис. (9.6) показаны соответствующие частотные характеристики 2, 3, 4. Амплитудно-частотная характеристика пересекает ось абсцисс при частоте  $\omega = 4$ . При этой же частоте избыток фазы примерно равен нулю, поэтому система находится на грани устойчивости. Для повышения устойчивости была введена почти жесткая отрицательная обратная связь, для чего использовали обмотку ОУ1. Она практически не изменила постоянных времени системы, но коэффициент усиления системы стал равен 30. Новая амплитудно-частотная характеристика пересекает ось абсцисс при частоте  $\omega = 2$ .

Так как кривая избытка фазы осталась прежней, систему можно считать устойчивой, но в связи с большой скоростью изменения усиления (наклон амплитудной кривой) система будет склонна к возбуждению колебаний. На практике при испытании машины это подтвердилось. Под влиянием упругих свойств кабата возникли колебания скорости. Они усиливались системой регулирования, в результате чего при выходе скапа из кривых и во время дотягивания появились значительные колебания, сопровождающиеся ударами роликов в кривых. Характер колебаний был зарегистрирован осциллографом (рис. 9.7).

Используя данные, характеризующие установку, получим  $T = 1,6 \div 1,65$  с (расчет проводили с использованием формул,

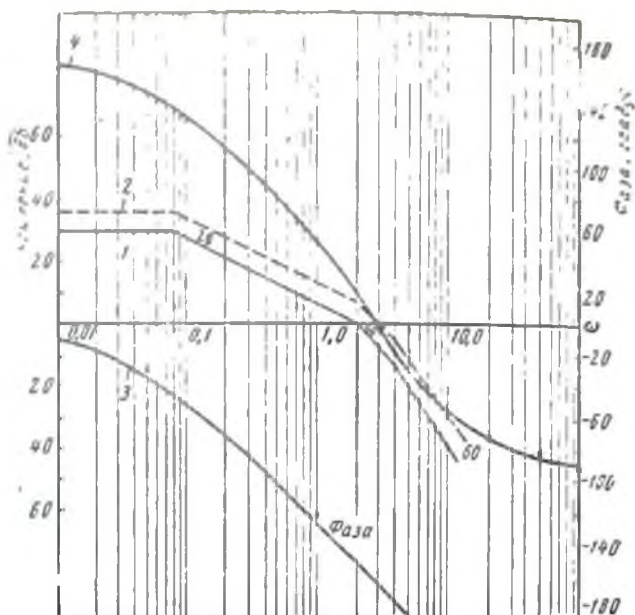


Рис. 9.6. Частотные характеристики системы до введения обратных связей:

1 — амплитудная при  $\kappa = 30$ ; 2 — амплитудная при  $\kappa = 50$ ; 3 — фазовая; 4 — избытка фазы

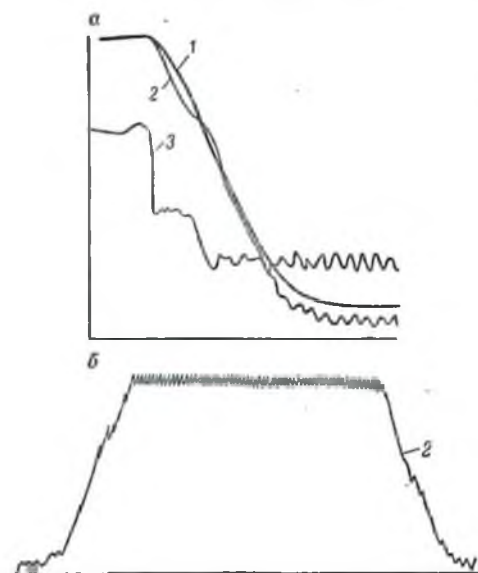


Рис. 9.7. Осциллограммы скорости движения подъемного сосуда:

а — до подавления колебаний, вызванных упругими свойствами каната; б — после подавления колебаний при окончательно отрегулированном времени цикла; 1 — заданная скорость; 2 — фактическая скорость; 3 — ток в катушке регулятора РДБВ

приведенных в [30]). Некоторая разница между данными осциллограммы и результатами, полученными при расчете, объясняется тем, что в формуле не учитывается влияние хвостового капата, однако отклонения весьма незначительны, так как экспериментальные кривые показали, что период равен 1,55—1,6 с. Соответствующая этому периоду частота будет равна 4 рад/с. На рис. 9.6

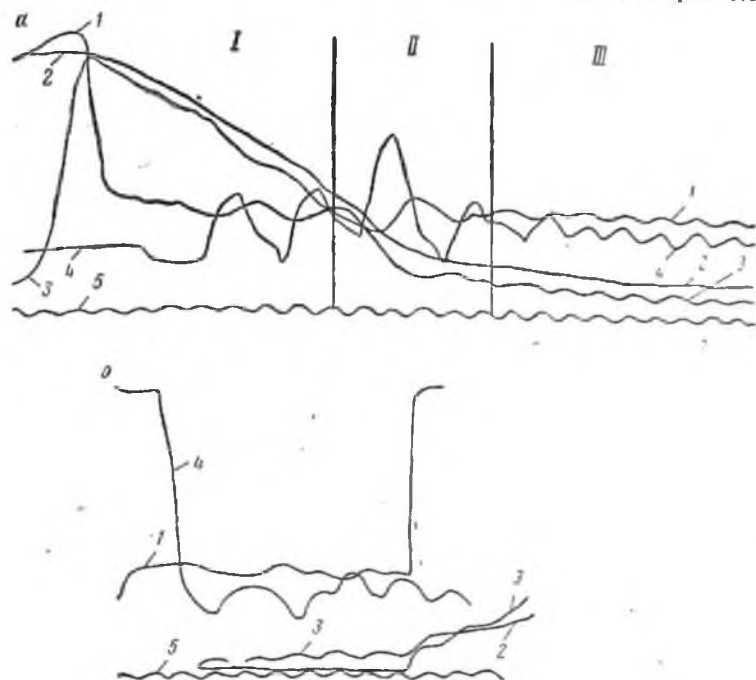


Рис. 9.8. Осциллограммы устойчивых колебаний тока и усилий, вызванных упругими свойствами капата:

а — замедление; б — выход из кривых при разгоне; 1 — ток в катушке РДВВ; 2 — заданная скорость; 3 — фактическая скорость; 4 — усилие, развиваемое тормозом; 5 — отметки времени 1 с; I — замедление от максимальной скорости до скорости подхода; II — установление скорости входа в кривые; III — движение перед кривыми и в кривых с учетом ликвидации ошибки в пути замедления

этой частоте соответствует смещение фазы  $180^\circ$ . Фактическое смещение на осциллограмме между задающим током и колебаниями скорости колеблется в пределах  $170\text{--}180^\circ$  (рис. 9.8).

Если вспомнить принятую схему регулирования, станет ясно, что такое смещение не подавляет возникшие колебания, а, наоборот, поддерживает их, переводя в устойчивые (см. рис. 9.8). Для подавления этих колебаний потребовалось сместить фазу на  $360^\circ$  (от первоначального нуля), для чего можно было использовать гибкую обратную связь. Для этой цели и была использована

обмотка *ОУIII* (см. рис. 9.4), включенная последовательно с емкостью и сопротивлением *R5*. Кроме того, прежняя жесткая обратная связь также была сделана гибкой. На структурной схеме (см. рис. 9.5) эта обратная связь показана штриховой линией.

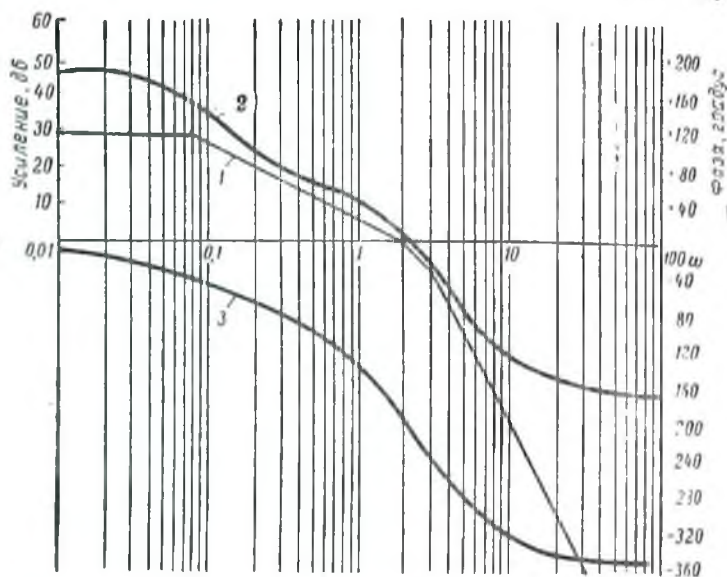


Рис. 9.9. Частотные характеристики системы после введения обратных связей:

1 — амплитудная; 2 — избытка фазы; 3 — фазы

Уравнения, соответствующие гибким обратным связям, имеют вид:

$$\frac{u_{вых}}{u_{вх}} = \frac{T_3 p}{T_3 p + 1}; \quad (9.27)$$

$$\frac{u_{вых}}{u_{вх}} = \frac{1}{T_7 p + 1}, \quad (9.28)$$

где  $T_7 = 0,35$  с;

$$T_4 = (R5 + R_p + R_{III}) C; \quad T_3 = (R5 + R_p) C. \quad (9.29)$$

После анализа было выбрано  $C = 15$  мкФ,  $R5 + R_p = 1500$  Ом и  $R_{III} = 124$  Ом. В соответствии с этими данными были получены постоянные времени  $T_3 = 0,023$  с и  $T_4 = 0,025$  с. Уравнение первого звена с гибкой обратной связью после приведения будет иметь вид

$$\frac{u_{вых, п}}{u_{вх, п}} = \frac{K (T_3 p + 1)}{(T_5 p + 1) (T_6 p + 1) (T_m p + 1)}. \quad (9.30)$$

Частотные характеристики, соответствующие этому уравнению, приведены на рис. (9.9). Если сравнить смещение фазы на рис. 9.9

и 9.7, то можно увидеть, что с введением гибких отрицательных обратных связей условия для подавления колебаний, вызванных упругими свойствами каната, значительно улучшились, так как смещение стало близким к  $270^\circ$ . Это подтверждается и осциллограммами, полученными после введения обратных связей. Одна из них показана на рис. 9.7, б. Колебания еще имеются, но они значительно меньше и не оказывают практического влияния на режим регулирования.

В заключение необходимо остановиться на некоторых особенностях наладки отдельных узлов схемы.

**Выбор схемы сравнения заданной и фактической скоростей.** Как видно из рис. 9.4, введена магнитная связь между заданной скоростью и фактической (обмотки  $OYV$  и  $OYIV$ ). В принципе можно было ввести и электрическую связь, но при этом пришлось бы усложнить схему для подавления высших гармоник, вызванных коммутацией тока тахогенератора, а главное, пульсацией выпрямленного тока в задающих обмотках МУ.

Для подтверждения приведенных соображений покажем, как изменяется величина рассогласования при отпоре и запертом усилителе. Соответствующие данные сведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Влияние пульсации тока задающей обмотки на величину рассогласования при электрической схеме сравнения скоростей

| Задающее напряжение, В | Напряжение $u_{T1}$ тахогенератора, В при $I_{\text{вых}} = 100 \text{ мА}$ | Ток в обмотке управления, мА, при $I_{\text{вых}} = 100 \text{ мА}$ | Напряжение тахогенератора $u_T$ , В, при $I_{\text{вых}} = 0$ | $u_{T1} - u_T$ , В |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1,75                   | 0                                                                           | 1,0                                                                 | 1,8                                                           | 1,8                |
| 5,0                    | 4,4                                                                         | 1,0                                                                 | 4,8                                                           | 0,4                |
| 10,0                   | 9,0                                                                         | 1,4                                                                 | 9,4                                                           | 0,4                |
| 30,0                   | 28,0                                                                        | 1,7                                                                 | 36,0                                                          | 8                  |
| 45,0                   | 43,0                                                                        | 1,9                                                                 | 56,0                                                          | 13                 |

Таким образом, с ростом напряжения в задающей обмотке влияние пульсации сказывается все сильнее и для подавления ее требуется значительное увеличение напряжения тахогенератора, причем его напряжению с увеличением тормозного усилия при малых и средних скоростях почти равно задающему и начинает превышать его с ростом скорости. Безусловно, при таких колебаниях величины рассогласования, необходимого для создания одного и того же тормозного усилия, невозможно получить устойчивое регулирование. Совсем иная картина получается при магнитной связи (табл. 9.3).

Так как характеристики обмоток  $OYIV$  и  $OYV$  (см. рис. 9.3) разные и, кроме того, значительно отличается напряжение

Т а б л и ц а 9.3

Влияние пульсации выпрямленного тока задающей обмотки  
на величину рассогласования при магнитной связи

| Задающее<br>напряжение, В | Напряжение<br>тахогенератора $u_{T1}$ ,<br>В, при $I_{\text{вых}} =$<br>$= 100 \text{ мА}$ | Напряжение<br>тахогенератора $u_T$ ,<br>В, при $I_{\text{вых}} = 0$ | $u_{T1} - u_T$ , В |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1,75                      | 3,2                                                                                        | 0,0                                                                 | 3,2                |
| 5,0                       | 8,4                                                                                        | 7,0                                                                 | 1,4                |
| 10,0                      | 16,0                                                                                       | 14,0                                                                | 2,0                |
| 20,0                      | 32,0                                                                                       | 30,0                                                                | 2,0                |
| 30,0                      | 47,0                                                                                       | 44,0                                                                | 3,0                |
| 50,0                      | 80,0                                                                                       | 76,0                                                                | 4,0                |

командоаппарата от напряжения тахогенератора, сравнивать непосредственно задающее напряжение и напряжение тахогенератора нельзя. Поэтому в табл. 9.2 и 9.3 проведено сравнение напряжений тахогенератора при заторможенной и отторможенной машине. По этой разности также можно судить о качестве регулирования.

Выше был описан выбор коэффициента усиления системы с точки зрения устойчивости, однако необходимо обеспечить и тепловую стабилизацию.

Тепловая стабилизация будет хорошей, если при выбранном коэффициенте усиления будут выполнены неравенства

$$R2 \geq (5-8) R IV; R \geq (5-8) RV,$$

где  $RIV$  и  $RV$  — соответственно сопротивления четвертой и пятой обмоток  $MY$ .

*Расчет профиля для командоаппарата ДЗС:* Выше уже упоминалось, что от электромагнитных муфт пришлось отказаться, поэтому длина профиля получалась несколько уменьшенной. Общие законы построения остались прежними (см. главу 7), однако вследствие замены командоаппарата РОС командоаппаратом СКАА пришлось внести некоторые коррективы.

Для построения профиля необходимо знать:  $m$  — масштаб ретардирующего диска, мм/м;  $v_0$  — минимальную скорость подъема, м/с;  $a$  — заданное (или выбранное) замедление м/с<sup>2</sup>;  $u$  — характеристику командоаппарата  $u = f(\alpha) = f(l)$ , где  $u$  — напряжение сельсипа;  $\alpha$  — угол поворота сельсипа;  $l$  — длину хорды, соединяющей концы дуги, описываемой рычагом командоаппарата; привязку командоаппарата к ретардирующему диску.

В рассматриваемом примере  $m = 8,35$  мм/м;  $v_0 = 11,3$  м/с,  $a = 0,7$  м/с<sup>2</sup>.

Характеристика командоаппарата  $u$  приведена на рис. 9.10. Полученная зависимость при выбранных границах напряжения очень мало отличается от линейной, поэтому в дальнейших расчетах нелинейность характеристики не учитывается.

Путь замедления вычисляем по формуле

$$S = \frac{v_0^2}{2a}. \quad (9.31)$$

Длина профиля, соответствующая пути замедления,

$$l_0 = mS. \quad (9.32)$$

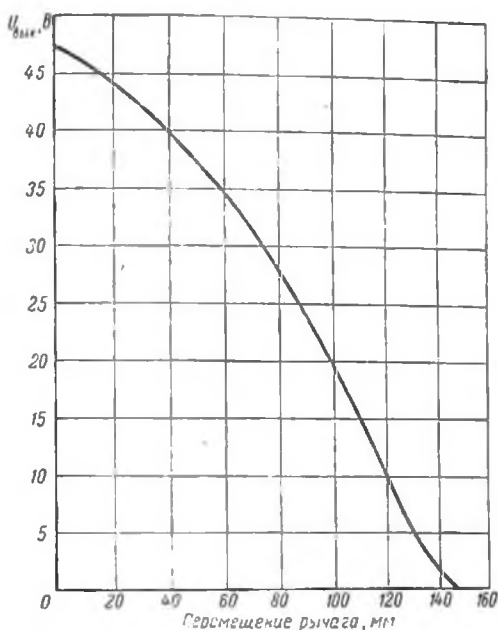


Рис. 9.10. Характеристика командоаппарата СКАА

Разбивая длину профиля на 10 частей, определяем для каждой точки соответствующую ей скорость  $v$ , используя формулу

$$v = v_0 \sqrt{1 - \frac{x}{l_n}}, \quad (9.33)$$

где  $x$  — отрезок профиля, выраженный в долях полной его длины.

Для каждой промежуточной скорости определяем напряжение командоаппарата

$$u_k = \frac{v u_{k \max}}{v_0} = u_{k \max} \sqrt{1 - \frac{x}{l_n}}, \quad (9.34)$$

где  $u_{k \max}$  — напряжение командоаппарата, соответствующее наибольшей скорости.

Используя характеристику, показанную на рис. 9.10, для каждого промежуточного напряжения командоаппарата определяем длину хорды для отклонения ролика командоаппарата.

Необходимо отметить, что полная длина хорды  $l$  соответствует длине хорды для командоаппарата РОС (см. рис. 7.16), а полученные на рис. 9.10 отрезки длины хорды — отрезкам, откладываемым на продолжении радиуса ретардирующего диска (см. рис. 7.16). Дальнейшее построение ведется обычным методом, описанным в главе 7.

#### § 9.4. ОСОБЕННОСТИ НАЛАДКИ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНОЙ С ПРИВОДОМ Г—Д

Наибольшее распространение получили схемы управления с применением магнитных и электромагнитных усилителей. За последнее время в эксплуатацию начинают поступать схемы с применением тиристоров для цепей управления и возбуждения как генератора, так и двигателя. Схемы управления на тиристорах пока что сложнее соответствующих схем на магнитных усилителях, но по мере совершенствования работы подобных схем, очевидно, можно будет получить значительное упрощение. Это особенно важно, так как в будущем намечается замена генератора постоянного тока управляемыми выпрямителями. Приводят и еще одно соображение в пользу замены магнитных усилителей тиристорами — увеличение быстродействия. Последнее утверждение не совсем точно, так как, рассматривая время переходных процессов, необходимо учитывать постоянные времени обмоток возбуждения генератора и двигателя, а также электромеханическую постоянную времени подъемной установки.

На рис. 9.11 показаны осциллограммы переходных процессов в системе Г — Д с промежуточным и силовым магнитными усилителями. Как следует из рис. 9.11, а, постоянная времени промежуточного магнитного усилителя практически равна нулю, а постоянная времени силового магнитного усилителя не превышает 0,5 с (рис. 9.11, б), постоянная времени обмотки возбуждения генератора равна 2,2 с, а постоянная времени генератора с учетом индуктивности якоря двигателя — 2,8 с и, наконец, постоянная времени машины (по кривой скорости) составляет 3,5 с (см. рис. 9.11, а). При введении обратной связи по скорости постоянная времени несколько уменьшается, но уже при сравнительно небольших коэффициентах усиления возникают колебания скорости. Таким образом, следует признать, что основное влияние на время протекания переходных процессов оказывают постоянные времени генератора и самой машины, и изменение времени переходного процесса при использовании магнитных усилителей или тиристоров практически незаметно.

Дифференциальное управление для замкнутой системы автоматического регулирования у машин с приводом Г — Д имеет не-

линейные члены (даже без учета узлов, имеющих магнитосвязывающие контуры) и не решается в квадратурах. Однако для разомкнутой системы можно написать линейное дифференциальное

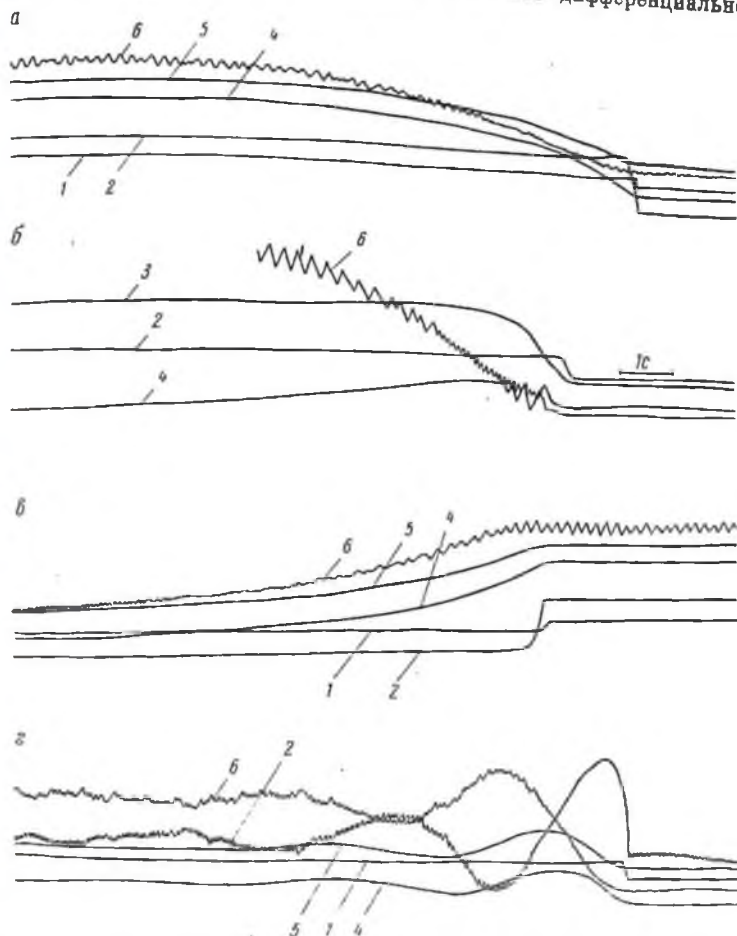


Рис. 9.11. Осциллограммы переходных процессов в системе Г—Д с промежуточным и силовым магнитным усилителями:

а, б — без введения обратных связей (при подаче сигнала); в — то же, но при снятии сигнала; г — после введения обратных связей (при подаче сигнала); 1 — подача сигнала в задающую обмотку промежуточного усилителя; 2 — ток на выходе промежуточного усилителя; 3 — напряжение на выходе силового магнитного усилителя; 4 — ток в силовой цепи Г—Д; 5 — напряжение главного генератора; 6 — скорость

уравнение, необходимое для оценки устойчивости и величины коэффициента усиления, причем, если применить приближенные методы решения, используя результаты экспериментально

снятых характеристик, то степень такого уравнения будет не очень высокой.

Приемы составления уравнения и методы его решения и последования аналогичны тем, которые были описаны при разборе примера в § 9.3 настоящей главы, поэтому ниже будут отмечены только некоторые особенности наладки подобных схем.

Как известно, система Г — Д имеет жесткие внешние характеристики, наклон которых к оси абсцисс зависит от сопротивления главной цепи, а скорость машины определяют по формуле

$$v = \frac{\pi D}{60} \frac{E - IR_n}{k\Phi} = \frac{\pi D}{60} \left( \frac{E}{k\Phi} - \frac{\Delta U}{k\Phi} \right) = v_x - \Delta v, \quad (9.35)$$

где  $E$  — э. д. с. генератора, В;  $I$  — ток главной цепи, А;  $R_n$  — сопротивление главной цепи, Ом;  $k$  — коэффициент пропорциональности, определяемый конструкцией двигателя;  $\Phi$  — магнитный поток двигателя.

Из формулы (9.35) следует, что ошибка в пути замедления подъемного сосуда определяется падением напряжения в главной цепи и будет зависеть от режима работы машины (подъем или спуск груза). Разность скоростей при подъеме груза и перегоне пустых сосудов

$$\Delta v = \frac{\pi D}{60} \cdot \frac{\Delta U_n - \Delta U_r}{k\Phi}. \quad (9.36)$$

Задача наладчика состоит в том, чтобы соответствующим выбором коэффициента усиления уменьшить эту разность до минимума, уменьшая угол  $\alpha$ . Коэффициент усиления

$$k = \frac{\Delta U - \Delta U_r}{\Delta U_s}, \quad (9.37)$$

где  $\Delta U$  — фактическое падение напряжения в главной цепи при спуске груза;  $\Delta U_r$  — заданное падение напряжения при подъеме груза, соответствующее заданной ошибке по скорости  $\Delta v$ , определяемой на основании заданной в проекте ошибки в пути замедления;  $\Delta U_s$  — падение напряжения на задающей обмотке ПМУ (ЭМУ или в цепи управления тиристорами).

Угол наклона характеристики  $\alpha$  определяется сопротивлением главной цепи:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta U}{I} = R_n. \quad (9.38)$$

Зависимость между скоростью машины и напряжением генератора в системе Г — Д такая же, как и тахогенератора, поэтому для определения связи между скоростью и напряжением может быть использована формула

$$\Delta U_r = U_0 \frac{\Delta v_r}{v_0}, \quad (9.39)$$

где  $U_0$  — наибольшее напряжение генератора, соответствующее наибольшей скорости машины  $v_0$ .

Если машина используется только для подъема груза, то коэффициент усиления можно рассчитывать, исходя из условия, что  $\Delta U$ ,  $\Delta U_r$ ,  $\Delta v_r$  соответствуют движению машины, когда в цепи якоря протекает ток, равный номинальному (сосуд с противовесом) или, в крайнем случае, 0,8 номинального (скаковой подъем с двумя сосудами).

Необходимо помнить, что в формуле (9.38) мы имеем значительные величины падений напряжения, полученные после выбора всех отрицательных обратных связей в промежуточных цепях управления. Таким образом, по формуле (9.37) выбранный коэффициент усиления есть не что иное, как отношение напряжения генератора к падению напряжения в задающей обмотке ПМУ (с учетом дополнительного сопротивления, последовательно включенного с этой обмоткой), т. е. тангенс угла наклона нагрузочной характеристики, полученной из зависимости  $U_r = f(U_s)$ , где  $U_s$  — напряжение на задающей обмотке.

После определения желаемой величины коэффициента усиления систему настраивают для получения требуемого наклона внешней характеристики введением положительной обратной связи по току двигателя. Кроме того, для уменьшения влияния петли гистерезиса ЭМУ и главного генератора на точность работы системы вводят соответствующие обратные связи по напряжению ЭМУ и генератора (рис. 9.12).

Иногда все обратные связи между отдельными узлами машины исключают и оставляют только обратную связь по скорости. Выбор того или иного решения зависит от требуемой величины коэффициента усиления и склонности системы к возбуждению колебаний. Следует отметить, что во всех без исключения случаях, т. е. при наличии или отсутствии обратных связей в отдельных узлах цепи управления, введение обратной связи по скорости даже при малых коэффициентах усиления уже вызывает появление колебаний скорости и требуется обязательное введение стабилизирующих устройств для полного или хотя бы частичного подавления возникающих колебаний. Это легко подтверждается построением амплитудно- и фазово-частотных характеристик.

Для стабилизации вводят гибкие обратные связи в ПМУ и ЭМУ. На рис. 9.12 они показаны штриховой линией. Иногда дополнительно увеличивают постоянную времени положительной обратной связи введением интегрирующего контура, а иногда для целей стабилизации замыкают накоротко или через небольшое сопротивление одну из обмоток управления в ПМУ. Выбор любого способа зависит от конкретных особенностей схемы управления. Предварительные данные для расчета гибких обратных связей можно выяснить по скорректированной амплитудно-частотной характеристике.



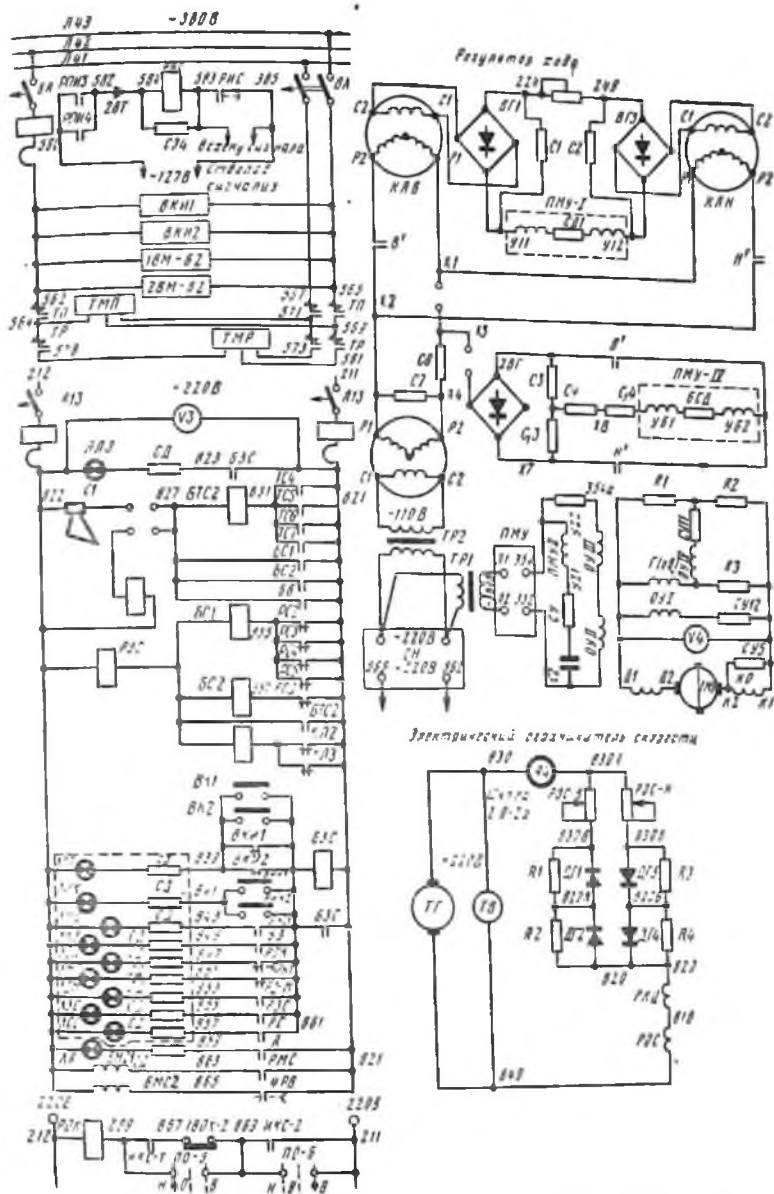


Рис. 9.12. Принципиальная схема управления подъемной машиной с приводом Г—Д (обратная связь по скорости не показана)

Если бы отсутствовало влияние температуры обмоток на скорость подъемной машины, принятых мер (без введения обратной связи по скорости) было бы достаточно, так как скоростью машины можно было бы управлять, контролируя ее по напряжению главного генератора (подобные схемы очень часто применялись ранее проектными организациями) и корректируя по току якоря, т. е. ограничиться использованием положительной обратной связи по току и отрицательной обратной связи по напряжению главного генератора. В действительности же температура обмоток оказывает очень большое влияние на скорость машины и поэтому необходимо вводить обратную связь по скорости машины. Одновременно сводят к минимуму действие остальных обратных связей. Решение о характере влияния каждой из обратных связей на работу машины принимают исходя из конкретных условий работы схемы и ее параметров.

Принимая во внимание эти предварительные замечания, рассмотрим сначала схему без обратной связи по фактической скорости, не учитывая влияние температуры. В такой схеме наибольшее внимание приходится уделять расчету обратной связи по стабилизации.

Вводя отрицательную обратную связь по напряжению генератора, стремятся сузить его петлю гистерезиса до минимума и, как указывалось выше, с помощью положительной обратной связи уменьшить до минимума пиклон характеристики, причем результирующий коэффициент усиления такой схемы можно определить по формуле (9.37). Из сказанного ясно, что общая задача наладки обратных связей сводится к определению токов в обмотках управления, исходя из требований, предъявляемых к обратным связям.

Если для обратных связей использовать общую обмотку управления, то ток в ней можно найти по формуле

$$i_{o.c} = \frac{\Delta U_r - \Delta U_n}{R_1 + R_2 + R_o} = i_{o.o.c} - i_{n.o.c}, \quad (9.40)$$

где  $\Delta U_r$  — часть напряжения генератора, используемая для отрицательной обратной связи;  $\Delta U_n$  — падение напряжения на участке силовой цепи Г — Д, используемое для положительной обратной связи;  $i_{o.o.c}$ ;  $i_{n.o.c}$  — ток отрицательной и положительной обратной связи;  $R_1$  — часть сопротивления потенциометра (с общим сопротивлением  $R$ ), включенного на зажимы якоря генератора, используемая для получения  $\Delta U_r$  (см. рис. 9.12);  $R_2$  — часть сопротивления силовой цепи Г — Д для получения  $\Delta U_n$ ;  $R_o$  — сопротивление обмотки управления.

Составляющие общего тока обратной связи:

$$i_{o.o.c} = \frac{\Delta U_r}{R_1 + R_2 + R_o} \approx \frac{U_r}{R} \frac{R_1}{R_1 + R_o}; \quad (9.41)$$

$$i_{n.o.c} = \frac{\Delta U_n}{R_1 + R_2 + R_o} \approx \frac{\Delta U_n}{R_1 + R_o}. \quad (9.42)$$

Используя связь между токами в задающей обмотке и обмотке обратной связи по намагничивающей силе, определим ток в задающей обмотке, эквивалентный току положительной обратной связи,

$$i_{3, n} = i_{n, o} \cdot \frac{w_o}{w_3}. \quad (9.43)$$

Имея в виду, что

$$\Delta U_n = \Delta U \frac{R_2}{R_1}, \quad (9.44)$$

можно после преобразований, подставив в формулу (9.43) значения  $\Delta U_n$  и заменив ток в задающей обмотке соответствующим ему падением напряжения, найти величину сопротивления  $R_1$ :

$$R_1 = \left[ \Delta U, \left( k - \frac{R_o}{R_3} \cdot \frac{R_n}{R_2} \cdot \frac{w_3}{w_o} \right) + U_r \frac{\Delta v_r}{v_o} \right] \frac{w_3}{w_o} \cdot \frac{R_2}{R_n} \cdot \frac{R_3}{\Delta U_3}. \quad (9.45)$$

Формула (9.45) не предусматривает включения последовательно с резистором  $R_n$  регулировочного резистора, по обыкновению включен. тогда под  $R_o$  следует понимать сумму сопротивлений обмотки обратной связи и регулировочного.

Если в небольших пределах изменять силу тока отрицательной обратной связи, то, хотя обязательно будет изменяться и общий коэффициент усиления, точность регулирования по величине рассогласования может остаться почти постоянной, так как на величину рассогласования оказывает влияние и мертвая зона, определяемая величиной петли гистерезиса.

В ряде случаев, окончив расчеты величины силы токов в цепях обратных связей и построив амплитудную и фазовую характеристики, можно обнаружить, что система находится на грани устойчивости, когда небольшие неучтенные изменения могут вызвать появление устойчивых колебаний тока и скорости, о чем уже упоминалось выше. Для их подавления целесообразно ввести гибкие обратные связи, определив их величину и место в схеме по скорректированной амплитудной характеристике. Методика расчета цепей стабилизации уже была описана в § 9.3.

*Обратная связь по фактической скорости.* При работе подъемной установки, имеющей схему управления, приведенную на рис. 9.12, большое влияние на точность подхода подъемного сосуда к приемной площадке и время дотягивания имеет температура обмотки возбуждения главного двигателя, а иногда и температура компенсационной обмотки и обмотки дополнительных полюсов. Это становится особенно заметным, когда максимальная скорость машины больше 10 м/с. Действительно, отрегулировав обратную связь так, чтобы внешняя характеристика была горизонтальной, решают только одну часть задачи — устранение влияния температуры обмотки возбуждения главного генератора. Это свойство заложено в принципе работы обратной связи и здесь не рассматривается. Значительно хуже условия в том случае, когда меняется температура в обмотке якоря двигателя и генератора. Как

указывалось выше, наклон внешней характеристики зависит от сопротивления силовой цепи, а ее величина может быть найдена по формуле

$$R_{\text{я}} = R_{\text{д.г}} + R_{\text{д.д}} + R_{\text{г}} + R_{\text{д.}} \quad (9.46)$$

где  $R_{\text{д.г}}$ ;  $R_{\text{д.д}}$  — омическое сопротивление дополнительных полюсов и компенсационной обмотки соответственно генератора и двигателя;  $R_{\text{г}}$ ;  $R_{\text{д.}}$  — омическое сопротивление якоря соответственно генератора и двигателя.

Так как омическое сопротивление обмоток зависит от температуры, изменяющейся в разное время года в пределах  $50-60^\circ\text{C}$ , чему соответствует изменение сопротивления на  $20-24\%$ , то в такой же мере будет меняться и наклон характеристики, причем границы колебания, принятые за  $100\%$ , можно получить как разность между характеристикой при обратной связи и холодных обмотках и характеристикой, для которой принято  $R_{\text{я}} = 0$ . В некоторых случаях изменение наклона достигает  $1-1,5\%$  при наибольшем напряжении генератора; такая величина в значительной степени отразится на точности подхода и маневров.

Еще большее влияние на точность подхода оказывает температура обмотки возбуждения двигателя. Скорость вращения двигателя

$$n = \frac{E_{\text{г}} - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{k\Phi}, \quad (9.47)$$

где  $E_{\text{г}}$  — э. д. с. генератора;  $R_{\text{я}}$  — сопротивление главной цепи.

При изменении числителя по заданному закону сохранить такое же изменение скорости вращения можно только при  $\Phi = \text{const}$ . Однако ток возбуждения пропорционален напряжению цепей управления и обратно пропорционален сопротивлению цепи обмотки возбуждения, которое в значительной степени зависит от температуры. В самых невыгодных случаях скорость может отклоняться на  $15-20\%$ , а это дает большое отклонение в пути дотягивания.

Для того чтобы избежать влияния отрицательных факторов, целесообразно ввести в цепь управления отрицательную обратную связь по напряжению тахогенератора, т. е. фактической скорости машины. К наладке отрицательной обратной связи по скорости приступают после того, как окончательно установлены параметры остальных обмоток и введена стабилизация.

Коэффициент усиления и силы тока в обмотке обратной связи рассчитывают по методам, указанным выше, учитывая влияние обратных связей.

Дополнительно настраивая обмотки управления, следует учитывать следующее:

наибольший ток задающей обмотки должен быть меньше указанного в каталоге длительного допустимого тока для данной обмотки;

для уменьшения ошибок управления и повышения точности регулирования на подходе ширины петли гистерезиса главного генератора следует свести к минимуму (1—1,5%, если это допустимо по условиям устойчивости), поскольку необходимо регулировать ток возбуждения; особое внимание следует уделить установке щеток на нейтраль для получения совершенно одинаковых квадрантах, так как в этом случае построение профилей, управляющих командоаппаратами, значительно облегчается, и убедиться в отсутствии намагничивания ЭМУ;

настройку обмоток осуществляют, когда температура обмоток возбуждения генератора и двигателя лишь незначительно отличается от окружающей среды, т. е. практически при «холодных» обмотках.

#### § 9.5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИВОДА Г—Д ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЗАМЕДЛЕНИЯ ПРИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОМ ТОРМОЖЕНИИ

Необходимость использования привода Г — Д для регулирования величины замедления при предохранительном торможении обычно возникает при больших концевых нагрузках и малой величине массы вращающихся и поступательно движущихся частей подъемной установки. Чаще всего подобные случаи встречаются на многоканатных подъемных установках, применяемых для прохождения ствола, так как большие концевые нагрузки на таких машинах позволяют значительно увеличить скорость прохождения ствола.

Однако проектные организации и завод-изготовитель не всегда учитывают допустимую величину концевой нагрузки с точки зрения обеспечения выполнения требований ПБ. В [30] при анализе работы тормозной системы уже приводились примеры подобных установок и были показаны способы регулирования тормозной системы для увеличения концевой нагрузки на машинах с малой приведенной массой, но использованию привода Г — Д не было уделено внимания.

Дальнейший опыт наладки машин с приводом Г — Д, у которого система возбуждения регулируется управляемыми выпрямителями, показал, что использование двигателя постоянного тока во время предохранительного торможения позволяет в очень широких пределах регулировать величину замедления подъемной установки.

В качестве примера рассмотрим работу машины МК 4 × 4, используемой при прохождении ствола глубиной 1200 м. По проекту средняя концевая нагрузка во время прохождения ствола

---

<sup>1</sup> Написан совместно с инженерами Н. Д. Бржезским и Е. Г. Губичем.

должна была изменяться в пределах 12—14 тс, а воллщина при-  
веденной к ободу барабана массы соответственно 3,2—3,3 т.

На рис. 9.13, а показана осциллограмма предохранительного  
торможения, выполненного до навески каната, причем наибольшее  
тормозное усилие, приведенное к ободу наливки, составило всего  
25 тс, т. е. равнялось двукратной величине минимальной кондовой  
нагрузки. Средняя величина замедления составила 8 м/с<sup>2</sup>. После  
навески канатов при кондовой нагрузке 12 тс замедление свобод-  
ного выбега получилось равным 3,8 м/с<sup>2</sup> (рис. 9.13, в). Таким

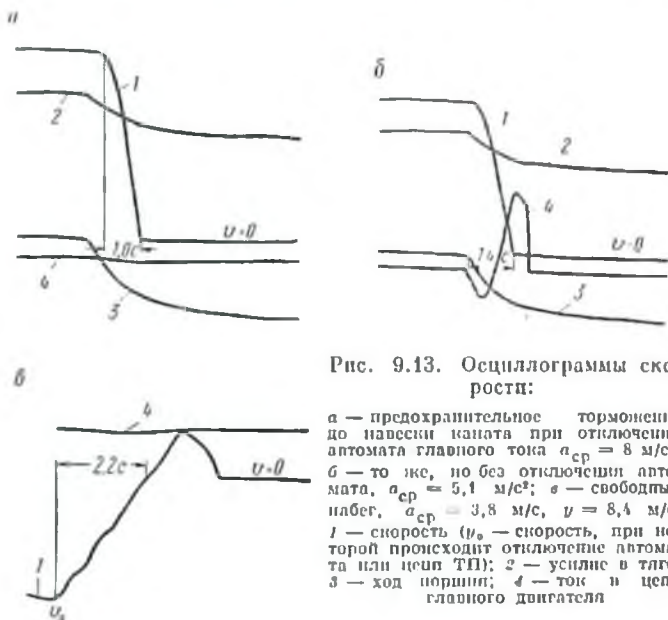


Рис. 9.13. Осциллограммы ско-  
рости:

а — предохранительное торможение  
до навески каната при отключении  
автомата главного тока  $a_{\text{ср}} = 8 \text{ м/с}^2$ ,  
б — то же, но без отключения авто-  
мата,  $a_{\text{ср}} = 5,1 \text{ м/с}^2$ ; в — свободный  
набег,  $a_{\text{ср}} = 3,8 \text{ м/с}^2$ ,  $v = 8,4 \text{ м/с}$ ;  
1 — скорость ( $v_0$  — скорость, при ко-  
торой происходит отключение авто-  
мата или цепи ТП); 2 — усилие в тяге;  
3 — ход поршня; 4 — ток в цепи  
главного двигателя

образом, если бы было произведено предохранительное торможе-  
ние во время подъема расчетного груза, замедление равнялось  
12 м/с<sup>2</sup>, т. е. возникло бы подпрыгивание груза с последующими  
значительными динамическими нагрузками.

Для предотвращения этого:

увеличено время нарастания тормозного усилия до макси-  
мально допустимой величины, нормируемой ПБ. Замедление  
значительно уменьшалось и при подъеме груза стало равным  
4,9 м/с<sup>2</sup>, однако для максимального проектного груза оно стало  
равным 5,5 м/с<sup>2</sup>, что недопустимо. Кроме того, во время пред-  
охранительного торможения опускаемого груза возникли значи-  
тельные превышения скорости (см. осциллограммы на рис. 7.14).  
Например, на осциллограмме (рис. 7.14, а) наибольшая скорость  
получилась равной 7,2 м/с при скорости в момент отключения  
4,3 м/с. Аналогичные превышения скорости на 2,5 м/с были заре-

гистрированы и на двух других осциллограммах этого рисунка. Таким образом, если бы отключение происходило при проектной скорости 8,5 м/с, то максимальная скорость стали бы равной 11 м/с, а ожидаемое превышение скорости при максимальной концевой нагрузке должно быть равным 3 м/с.

Подобные превышения скорости могут привести к аварии, если предохранительное торможение возникает в момент подхода бады к забой или к предохранительному полку;

по размыкании цепи главного тока во время предохранительного торможения, т. е. использовалась электромагнитная энергия, накопленная в системе Г — Д. Отключая питание обмоток возбуждения и замыкая их на разрядное сопротивление различной величины, получают двигательный или тормозной момент.

Этот давно известный метод раньше не применялся у нас, так как тормозные системы наших машин работают весьма надежно, а до последнего времени массы движущихся частей на подъемных установках были значительны, благодаря чему легко обеспечивалась любая плавность предохранительного торможения, и только в связи с внедрением машин, имеющих малые массы подвижных частей и очень большие концевые нагрузки, возникла необходимость в использовании привода Г — Д во время предохранительного торможения.

В настоящее время обмотки возбуждения генератора и двигателя получают питание или от спловых магнитных усилителей, или от управляемых выпрямителей. В обоих случаях легко применить указанный выше метод.

При использовании спловых магнитных усилителей достаточно отключить от сети рабочие обмотки усилителей и с помощью специального контактора в цепь: обмотка возбуждения — выпрямитель — обмотка усилителя дополнительно ввести разрядный резистор необходимого сопротивления и мы получим разные тормозные и движущие моменты. Следует заметить, что в подобной схеме очень часто вообще не вводят разрядный резистор, а оставляют обмотку возбуждения замкнутой на рабочие обмотки магнитных усилителей.

Почти аналогичный результат получим и при использовании тиристоров. После отключения напряжения 380 В обмотка возбуждения генератора или двигателя окажется замкнутой на разрядный резистор.

В схемах с тиристорами управлять обмоткой возбуждения во время предохранительного торможения можно: снимая ток задания и оставляя включенным все обратные связи (без отключения автомата в цепь 380 В);

отключая напряжение 380 В, когда будет снято не только задание, но окажется обесточенным и все обратные связи;

отключая одновременно 380 В и 6 кВ (случай общего снятия напряжения с установки).

Т а б л и ц а 9.4

Результаты испытаний машины МК 4×4, работающей  
в режиме одноконцевого подъема

| № опыта | Характеристика опыта | Основные показатели |          |       |       |
|---------|----------------------|---------------------|----------|-------|-------|
|         |                      | $v_0$               | $T_{II}$ | $T_3$ | $a_3$ |

**Отключение цепи главного тока**

|    |                                   |     |     |     |        |
|----|-----------------------------------|-----|-----|-----|--------|
| 0  | До навески каната . . . . .       | 8,0 | 0,7 | 1   | 8      |
| 1  | Пустая бадья (подъем) . . . . .   | 4,7 | —   | 1,7 | 2,65 * |
| 2  | Пустая бадья (спуск) . . . . .    | 3,5 | 1,5 | 0,8 | 4,0 *  |
| 28 | Бадья с грузом (подъем) . . . . . | 8,4 | —   | 1,8 | 4,6 *  |
| 26 | Бадья с грузом (спуск) . . . . .  | 4,3 | 2,6 | 0,9 | 4,7 *  |

**Без отключения цепи главного тока,  
но снято напряжение 380 в**

|    |                                   |     |   |     |      |
|----|-----------------------------------|-----|---|-----|------|
| 6  | Бадья с водой (подъем) . . . . .  | 4,9 | — | 1,6 | 3,05 |
| 5  | Бадья с водой (спуск) . . . . .   | 3,8 | — | 1,7 | 2,25 |
| 16 | Бадья с грузом (подъем) . . . . . | 9,1 | — | 2,4 | 3,8  |
| 17 | Бадья с грузом (спуск) . . . . .  | 8,2 | — | 2,9 | 2,8  |

**Без отключения цепи главного тока,  
но снято напряжение 6 кВ и 380 В**

|    |                                   |     |   |     |        |
|----|-----------------------------------|-----|---|-----|--------|
| 7  | Бадья с водой (подъем) . . . . .  | 4,9 | — | 1,2 | 4,1    |
| 8  | Бадья с водой (спуск) . . . . .   | 8,2 | — | 2,2 | 3,7    |
| 19 | Бадья с грузом (подъем) . . . . . | 8,6 | — | 2,2 | 3,9    |
| 18 | Бадья с грузом (спуск) . . . . .  | 8,2 | — | 2,9 | 2,8 ** |

Примечания.  $v_0$  — скорость, м/с, при которой отключается цепь ТП;  $T_{II}$  — время движения машины после отключения цепи ТП со скоростью, равной или большей  $v_0$ ;  $T_3$  — время замедления от скорости  $v_0$ ;  $a$  — среднее замедление, м/с.

\* В опытах 2 и 26 при предохранительном торможении опускаемого груза замедление выше, чем при подъеме груза. Это объясняется тем, что общее время замедления при спуске груза значительно больше (2,5 и 3,5 с), чем при подъеме (1,7 и 1,8 с), поэтому во время спуска груза результирующее тормозное усилие намного больше.

\*\* В опытах 18 и 19 было усилено воздействие двигателя на режимы предохранительного торможения вследствие изменения величины разрядного сопротивления.

Испытания и анализ схем показали, что следует остановиться на втором способе и одновременно выяснить, как будет вести себя установка при полном снятии напряжения, так как подобные случаи не исключены во время эксплуатации.

Эти выводы были сделаны на основании большого количества опытов с режимами предохранительного торможения для случаев подъема и спуска проектного груза, причем проводились они на разной глубине нахождения груза для всех режимов управления обмотками возбуждения генератора и двигателя. Результаты наиболее интересных испытаний сведены в табл. 9.4. Интересно

сразу отметить, что во всех без исключения случаях предохранительного торможения величина замедления не только соответствовала требованиям ПБ, но находилась далеко от граничных значений, установленных нормами ПБ, а наиболее плавным получалось замедление при полном отключении напряжения 380 В, причем ни разу не было отмечено возникновения перенапряжений в цепях тириستоров.

В заключение были проделаны опыты для максимально возможной конечной нагрузки (с соответствующим увеличением тормозного усилия). Результаты показаны на рис. 9.14, опыты проводились при отключении напряжения 6 кВ и полном отключении напряжения 380 В. Как следует из осциллограмм, и в этом случае были выдержаны нормы ПБ.

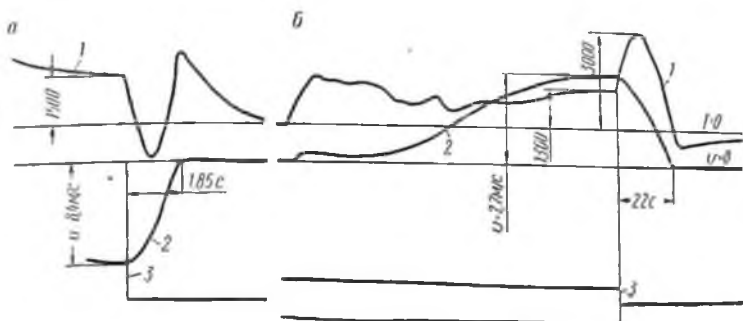


Рис. 9.14. Осциллограммы предохранительного торможения:

а — подъем груза; б — спуск груза; 1 — ток, А; 2 — скорость, м/с; 3 — ток в цепи ТП

Проследим, как изменялся ток главного двигателя во время предохранительного торможения. В первом опыте (рис. 9.14, а) отключение произошло при токе 1500 А, сразу же ток начал интенсивно уменьшаться, а затем двигатель перешел в генераторный режим, т. е. пока тормозное усилие невелико двигатель подтормаживает машину, но примерно с половины процесса его роль меняется и он начинает препятствовать замедлению. Это происходит при токе, равном 1000 А, когда двигатель находился в генераторном режиме: постепенно ток уменьшается, и к концу замедления двигатель снова переходит в двигательный режим, интенсивно препятствуя замедлению машины. Остановка машины происходит, когда ток достигает 2200 А, т. е. он даже больше, чем во время равномерного хода.

При предохранительном торможении опускаемого груза в начале двигатель, оставаясь в генераторном режиме, не только удерживает груз от развития скорости, но и способствует замедлению. Ток в этот период увеличивается от 1500 (момент отключения) до 3000 А и, только с ростом тормозного усилия влияние

двигателя начинает сначала медленно, а затем все быстрее уменьшаться, и к моменту остановки груза двигатель практически не влияет на режим замедления (рис. 9.14, б).

Приведенные осциллограммы убедительно показывают, как положительно влияет система Г — Д на режимы предохранительного торможения, поэтому для машин, обладающих малыми массами движущихся частей и имеющих большие концевые нагрузки, безусловно, необходимо использовать ее в режимах предохранительного торможения, причем это должно быть заложено уже в проекте.

Как следует из условий режимов работы, автомат главного тока при любом предохранительном тормозе должен оставаться включенным, поэтому его уставка должна быть больше максимального тока, возникающего в период предохранительного торможения, но одновременно необходимо обеспечить отключение коротких замыканий, которые могут возникнуть в цепи главного тока, и отключать токи, возникающие при неподвижной машине. Последнее может потребоваться при многих неисправностях в цепях управления.

# ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ В ОДНОМ КАНАТЕ НА ДРУГОЙ

Приложение I

При рассмотрении влияния динамических усилий в канате на скорость машины не учитывалось влияние динамических усилий в одном канате на другую. Такое предположение выдвигалось на основании того, что массы вращающихся частей подъемной установки значительно больше масс концевых нагрузок. Следует, однако, отметить, что за последнее время становится все больше машин, имеющих весьма малые массы вращающихся частей, поэтому целесообразно этот вопрос рассмотреть более подробно. Наиболее удобным для этой цели будет случай свободного выбега при встрече подъемных сосудов в стволе, так как все остальные потребуют значительно большего количества выкладок и вместе с тем ничего существенного не прибавят.

Учитывая сделанные ограничения, за основу возьмем расчетную схему, показанную на рис. 8.10.

Для определения величины ошибки в первом приближении необходимо решить уравнения:

$$\frac{\partial^2 u_r}{\partial t^2} - b^2 \frac{\partial^2 u_r}{\partial x^2} = - \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} - b^2 \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} = \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau}, \quad (2)$$

где

$$a_x = a_{x1} - (a_{x1} - a_{x2}) \frac{x}{l}; \quad (3)$$

$$a_r = a_{r1} + (a_{r1} - a_{r2}) \frac{x}{l}, \quad (4)$$

причем при  $x=0$ :

$$a_{x1} = \frac{4Q_c}{G} a \frac{\lg \beta_{xk}}{2\beta_{xk} + \sin 2\beta_{xk}}; \quad (5)$$

$$a_{r1} = \frac{4Q}{G} a \frac{\lg \beta_{rk}}{2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk}}; \quad (6)$$

при  $x=l$

$$a_{x2} = \frac{4Q_c}{G+Q_k} a \frac{\lg \beta_{xk}}{2\beta_{xk} + \sin 2\beta_{xk}}, \quad (7)$$

при  $x=-l$

$$a_{r2} = \frac{4Q}{G+Q_k} a \frac{\lg \beta_{rk}}{2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk}}. \quad (8)$$

Граничные условия для решения этих уравнений:

$$u_r(0, t) = 0; \quad \frac{Q}{g} \frac{\partial^2 u_r(l, t)}{\partial t^2} + ES \frac{\partial u_r(l, t)}{\partial x} = 0; \quad (9)$$

$$u_x(0, t) = 0; \quad \frac{Q_c}{g} \frac{\partial^2 u_x(-l, t)}{\partial t^2} + ES \frac{\partial u_x(-l, t)}{\partial x} = 0. \quad (10)$$

Начальные условия следует принять нулевыми, т. е.:

$$u_r(x, 0) = 0; \quad \frac{\partial u_r(x, 0)}{\partial t} = 0; \quad (11)$$

$$u_x(x, 0) = 0; \quad \frac{\partial u_x(x, 0)}{\partial t} = 0. \quad (12)$$

Учитывая общность граничных условий с предыдущими задачами, решение уравнений (1) и (2) следует искать в виде

$$u(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} S_k \sin \beta_k \frac{x}{l}. \quad (13)$$

Разлагая правые части уравнений (1) и (2) в ряд по синусам

$$\sum_{k=1}^{\infty} a \cos \beta_k \frac{t+\tau}{\tau} = \sum_{k=1}^{\infty} H_k \sin \beta_k \frac{x}{l}, \quad (14)$$

можно для любого члена ряда после подстановки соответствующих значений в уравнения (1) и (2) написать новые уравнения:

$$S_{rk}'' + \frac{b^2 \beta_{rk}^2}{l^2} S_{rk} = H_{rk}; \quad (15)$$

$$S_{xk}'' + \frac{b^2 \beta_{xk}^2}{l^2} S_{xk} = H_{xk}. \quad (16)$$

Дальнейшее решение будем вести только для уравнения (15), а затем по аналогии напишем результат и для уравнения (16).

Коэффициенты в правой части можно отыскать с помощью формулы

$$\begin{aligned} H_{rk} &= \frac{4}{2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk}} \int_0^l \frac{\partial a_x}{\partial x} \cos \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau} \cos \beta_{rk} \frac{x}{l} dx = \\ &= - \frac{4(a_{x1} - a_{x2}) \sin \beta_{rk}}{\beta_{rk} (2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk})} \cos \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau}. \end{aligned} \quad (17)$$

Первое частное решение уравнения (15) без правой части будет

$$S_{1rk} = A_{rk} \cos \beta_{rk} \frac{t}{\tau} + B_{rk} \sin \beta_{rk} \frac{t}{\tau}. \quad (18)$$

Второе частное решение с учетом правой части напишем в виде

$$S_{2rk} = \frac{4(a_{x1} - a_{x2}) \sin \beta_{rk}}{\beta_{rk} (2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk})} \frac{\tau^2}{\beta_{rk}^2 - \beta_{xk}^2} \cos \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau}. \quad (19)$$

Коэффициенты  $A_{rk}$  и  $B_{rk}$  отыскиваются с помощью начальных условий после объединения обоих частных решений:

$$A_{rk} = - \frac{4(a_{x1} - a_{x2}) \sin \beta_{rk}}{\beta_{rk} (2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk})} \cdot \frac{\tau^2 \cos \beta_{xk}}{\beta_{rk}^2 - \beta_{xk}^2}; \quad (20)$$

$$B_{rk} = \frac{4(a_{x1} - a_{x2}) \sin \beta_{rk}}{\beta_{rk} (2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk})} \frac{\beta_{xk} \tau^2 \sin \beta_{xk}}{\beta_{rk} (\beta_{rk}^2 - \beta_{xk}^2)}. \quad (21)$$

Обозначая

$$\beta_{rk} \cos \beta_{xk} = \cos \alpha; \quad \beta_{xk} \sin \beta_{xk} = \sin \alpha, \quad (22)$$

получим решение уравнения (15) в виде

$$S_{rk} = \frac{4Q}{ES} \frac{a_{x1} - a_{x2}}{g} l \frac{\sin \beta_{rk}}{\beta_{rk} (2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk})} \times \\ \times \frac{\operatorname{tg} \beta_{rk}}{\beta_{rk}^2 - \beta_{xk}^2} \left[ \cos \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau} - \cos \left( \beta_{rk} \frac{t}{\tau} + \alpha \right) \right]. \quad (23)$$

Общее решение уравнения (1)

$$u_r(x, t) = \frac{16QQ_cQ_k}{ESG(G+Q_k)} \cdot \frac{a}{g} l \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_{rk}}{\beta_{rk} (2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk})} \times \\ \times \frac{\operatorname{tg} \beta_{xk}}{\beta_{xk} (2\beta_{xk} + \sin 2\beta_{xk})} \cdot \frac{\beta_{rk} \sin \beta_{rk}}{\beta_{rk}^2 - \beta_{xk}^2} \left[ \cos \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau} - \right. \\ \left. - \cos \left( \beta_{rk} \frac{t}{\tau} + \alpha \right) \right] \sin \beta_{rk} \frac{x}{l}. \quad (24)$$

По аналогии общее решение уравнения (2) напишем в виде

$$u_x(x, t) = - \frac{16QQ_cQ_k}{ESG(G+Q_k)} \cdot \frac{a}{g} l \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_{rk}}{\beta_{rk} (2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk})} \times \\ \times \frac{\operatorname{tg} \beta_{xk}}{\beta_{xk} (2\beta_{xk} + \sin 2\beta_{xk})} \cdot \frac{\beta_{rk} \sin \beta_{xk}}{\beta_{rk}^2 - \beta_{xk}^2} \times \\ \times \left[ \cos \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau} - \cos \left( \beta_{xk} \frac{t}{\tau} + \alpha' \right) \right] \sin \beta_{xk} \frac{x}{l}. \quad (25)$$

Усилия, возникающие в канатах от этих дополнительных деформаций, получим после дифференцирования уравнений (24) и (25) и умножения результата на жесткость каната:

$$F_r(t) = aG \sum_{k=1}^{\infty} C_k \frac{\beta_{rk} \beta_{xk} \sin \beta_{rk}}{\beta_{rk}^2 - \beta_{xk}^2} \left[ \cos \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau} - \cos \left( \beta_{rk} \frac{t}{\tau} + \alpha \right) \right]; \quad (26)$$

$$F_x(t) = aG \sum_{k=1}^{\infty} C_k \frac{\beta_{rk} \beta_{xk} \sin \beta_{xk}}{\beta_{rk}^2 - \beta_{xk}^2} \left[ \cos \left( \beta_{xk} \frac{t}{\tau} + \alpha' \right) - \cos \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau} \right]. \quad (27)$$

Подставляя полученные результаты в уравнение движения машины, найдем составляющие скорости, вызванные дополнительными усилиями, не учтенными ранее:

$$v_r(t) = a\tau \sum_{k=1}^{\infty} C_k \frac{\sin \beta_{rk}}{\beta_{rk}^2 - \beta_{xk}^2} \times \\ \times \left[ \beta_{xk} \sin \left( \beta_{rk} \frac{t}{\tau} + \alpha \right) - \beta_{rk} \sin \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau} \right]; \quad (28)$$

$$v_x(t) = a\tau \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \beta_{xk}}{\beta_{xk}^2 - \beta_{rk}^2} \times \\ \times \left[ \beta_{xk} \sin \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau} - \beta_{rk} \sin \left( \beta_{xk} \frac{t}{\tau} + \alpha' \right) \right]. \quad (29)$$

В формулах (28) и (29) принято:

$$C_k = \frac{16QQ_cQ_k}{G^2(G+Q_k)} \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta_{rk}}{\beta_{rk}(2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk})} \frac{\operatorname{tg} \beta_{xk}}{\beta_{xk}(2\beta_{xk} + \sin 2\beta_{xk})}; \quad (30)$$

$$\beta_{rk} \sin \beta_{rk} = \sin \alpha'; \quad \beta_{xk} \cos \beta_{rk} = \cos \alpha'; \quad (31)$$

Общая дополнительная составляющая скорости

$$v_a(t) = v_r(t) - v_x(t) = a\tau \sum_{k=1}^{\infty} C_k \frac{1}{\beta_{xk} + \beta_{rk}} \times \\ \times \left\{ \frac{\beta_{xk}}{\beta_{xk} - \beta_{rk}} \left[ \sin \beta_{rk} \sin \left( \beta_{rk} \frac{t}{\tau} + \alpha \right) - \sin \beta_{xk} \sin \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau} \right] + \right. \\ \left. + \frac{\beta_{rk}}{\beta_{xk} - \beta_{rk}} \left[ \sin \beta_{xk} \sin \left( \beta_{xk} \frac{t}{\tau} + \alpha' \right) - \sin \beta_{rk} \sin \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau} \right] \right\}. \quad (32)$$

В уравнении (32) введем обозначения:

$$\frac{\beta_{xk}(\beta_{rk} \sin \beta_{rk} \cos \beta_{xk} - \sin \beta_{xk} \cos \beta_{rk})}{\beta_{xk} - \beta_{rk}} = \cos \gamma_k; \quad (33)$$

$$\frac{\beta_{xk} \sin \beta_{xk} \sin \beta_{rk} (\beta_{xk} - 1)}{\beta_{xk} - \beta_{rk}} = -\sin \gamma_k; \quad (34)$$

$$\frac{\beta_{rk} (\beta_{xk} \sin \beta_{xk} \cos \beta_{rk} - \sin \beta_{rk} \cos \beta_{xk})}{\beta_{xk} - \beta_{rk}} = \cos \Delta_k; \quad (35)$$

$$\frac{\beta_{rk} \sin \beta_{xk} \sin \beta_{rk} (\beta_{rk} - 1)}{\beta_{xk} - \beta_{rk}} = -\sin \Delta_k. \quad (36)$$

Приведем уравнение (32) к виду, удобному для анализа:

$$v_a(t) = a\tau \sum_{k=1}^{\infty} \frac{C_k}{\beta_{xk} + \beta_{rk}} \left[ \sin \left( \beta_{rk} \frac{t}{\tau} - \gamma_k \right) + \sin \left( \beta_{xk} \frac{t}{\tau} - \Delta_k \right) \right]. \quad (37)$$

Для выяснения допущенной ошибки следует сравнить соответствующие амплитуды колебаний скорости, вызванные динамическими усилениями, возникшими от колебаний концевых нагрузок, с амплитудами, полученными по уравнению (37). Проводя сравнение, необходимо учитывать смещение соответствующих амплитуд относительно друг друга.

Учитывая сделанные замечания, для сравнения целесообразно использовать формулу, характеризующую колебания скорости во время свободного выбега при встрече их в стволе:

$$v(t) = -4a\tau \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos \rho_k + \rho_k \sin \rho_k}{\rho_k (2\rho_k + \sin 2\rho_k)} \sin \rho_k \sin \rho_k \frac{t}{\tau} + \frac{4Q}{G} a\tau \times$$

$$\times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_{rk}}{\beta_{rk} (2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk})} \sin \beta_{rk} \frac{t+\tau}{\tau} + \frac{4Q_c}{G} a \tau \sum_{k=1}^{\infty} \times$$

$$\times \frac{\operatorname{tg} \beta_{xk}}{\beta_{xk} (2\beta_{xk} + \sin 2\beta_{xk})} \sin \beta_{xk} \frac{t+\tau}{\tau}. \quad (38)$$

Подставляя вместо  $C_k$  его значение и беря отношение соответствующих амплитуд, получим влияние:

динамики каната пустого сосуда на колебания скорости, вызванные колебаниями груженого сосуда,

$$\frac{\Delta v_r}{v_r} = \frac{4Q_c Q_k}{G(G+Q_k)} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_{xk}}{\beta_{xk} (2\beta_{xk} + \sin 2\beta_{xk})} \frac{\sin \gamma_k}{\sin \beta_{rk} (\beta_{rk} + \beta_{xk})}; \quad (39)$$

динамических усилий в канате груженого сосуда на колебания скорости, вызванные колебаниями пустого сосуда,

$$\frac{\Delta v_x}{v_x} = \frac{4Q Q_k}{G(G+Q_k)} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{tg} \beta_{rk}}{\beta_{rk} (2\beta_{rk} + \sin 2\beta_{rk})} \frac{\sin \Delta_k}{\sin \beta_{xk} (\beta_{rk} + \beta_{xk})}. \quad (40)$$

Для выявления степени влияния лучше всего рассмотреть два случая, причем в первом случае — очень редко встречающееся отношение массы канцовой нагрузки к массе вращающихся частей, приняв, что  $Q/G = 0,5$ , а во втором — наиболее распространенный случай такого отношения для современных крушых подъемных установок, а именно  $Q/G = 0,25$ .

Как известно, наибольшие колебания скорости отмечаются на стволах глубиной 1000 м и более, когда отношение массы каната к массе загруженного сосуда приближается к единице, например при глубине ствола 1250 м оно обычно около 0,75, а при глубине 1500 м равно 1. Возьмем именно такой редко встречающийся, но все же возможный случай. На мощных подъемных установках обычно масса сосуда равна массе полезного груза. Если принять эти допущения, то для случая встречи сосудов в стволе (первый пример) будем иметь:  $Q_k/Q = 0,5$ ,  $Q_k/Q_c = 1$ ,  $\beta_{rk} = 0,65$ ,  $\beta_{xk} = 0,86$ ,  $Q/G = 0,5$ . Для нашей оценки вполне достаточно воспользоваться только первыми членами ряда, тогда  $\operatorname{tg} \beta_r = 0,76$ ;  $\sin \beta_r = 0,6$ ;  $\sin 2\beta_r = 0,96$ ;  $\operatorname{tg} \beta_x = 1,16$ ;  $\sin \beta_x = 0,75$ ;  $\sin 2\beta_x = 0,99$ .

После подстановки всех значений в формулы (39) и (40) получим:

$$\frac{\Delta v_r}{v_r} \approx 0,02; \quad \frac{\Delta v_x}{v_x} \approx 0,07.$$

Во втором примере увеличится только масса вращающихся частей, а все остальные члены останутся прежними, поэтому легко видеть, что

$$\frac{\Delta v_r}{v_r} \approx 0,01 \text{ и } \frac{\Delta v_x}{v_x} \approx 0,035.$$

Из приведенных данных видно, что даже в самом невыгодном случае величина дополнительных колебаний не превышает 10% основной величины, поэтому во всех нижеперенесенных расчетах не следует принимать во внимание влияние головных канатов друг на друга.

Высказанное соображение кроме основного довода, что на большинстве действующих установок ошибка будет еще меньше, так как глубина ствола очень редко превышает 1200—1300 м, а отношение веса головного каната к весу канцовой нагрузки редко бывает более 0,7, подтверждается и целым рядом дополнительных соображений, а именно:

во всех расчетах не принимаются во внимание предные сопротивления створа и машины, а их величина для жесткой армировки очень близка к 10% концевой нагрузки, а при канатных проводниках составляет 5—7% концевой нагрузки;

не принимаются также во внимание крутящие усилия в головных канатах, и хотя ошибка от этого допущения значительно меньше предыдущей, она все же соизмерима с ошибкой от влияния динамических усилий в канатах друг на друга;

точность измерения концевых нагрузок и их дозирование (для скипов) тоже не превышает 5—8%.

## Приложение II

### МЕТОДИКА НАЛАДКИ ОГРАНИЧИТЕЛЯ СКОРОСТИ ЭОС-2

1. Строят расчетные диаграммы скорости в режиме замедления. Данные находят с помощью формул (7.64) — (7.69). Пример диаграмм показан на рис. 1П.

2. Выбирают требуемое передаточное отношение в блоке сельсин-датчиков. Расчет необходимо вести так, чтобы угол поворота сельсина на пути  $x_p$  не превышал  $72^\circ$ . Комплекты сменных пар шестерен следующие:

|           |       |       |      |      |      |      |      |     |      |      |       |
|-----------|-------|-------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-------|
| $z_5$     | 36    | 44    | 58   | 74   | 92   | 112  | 132  | 150 | 166  | 180  | 188   |
| $z_6$     | 188   | 180   | 166  | 150  | 132  | 112  | 92   | 74  | 58   | 44   | 36    |
| $n_{вых}$ | 0,482 | 0,645 | 0,88 | 1,24 | 1,75 | 2,52 | 3,62 | 5,1 | 7,22 | 10,3 | 13,15 |

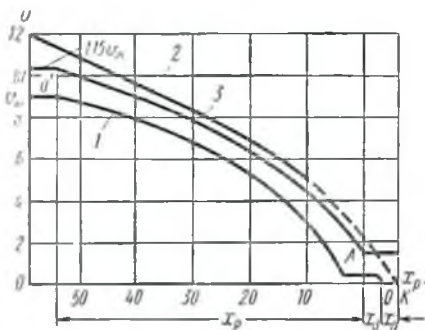
3. Сосуды поочередно устанавливают в положение, соответствующее началу пути замедления. В этих точках настраивают путевые выключатели ЭВ1 и ЭВ2. Сдвигая сосуды на несколько метров в сторону уменьшения пути замедления, настраивают путевые выключатели ЭВ3 и ЭВ4 (см. рис. 7.17).

4. Регулируют установочное сопротивление в цепи обмотки возбуждения тахогенераторов, чтобы при максимальной скорости напряжение тахогенераторов не превышало 220 В. Одновременно проверяют степень тепловой стабилизации обмотки возбуждения тахогенераторов.

5. Регулируют положение статоров сельсин-датчиков так, чтобы при движении сосудов от точки начала пути дотягивания (точка А на рис. 1П) в сторону нижней приемной площадки напряжение на ДФП начало возрастать.

1П. Расчетные кривые для режима замедления (скиповой подъем):

1 — заданная кривая скорости; 2 — защитная кривая скорости; 3 — критическая кривая скорости



6. Для этого же положения сосудов регулируют величину контролируемой скорости дотягивания. Для этого галетный переключатель устанавливают в положение 2 (см. рис. 8.17); резистором П7 регулируют напряжение на величину, соответствующую контролируемой скорости дотягивания (величину напряжения проверяют по вольтметру V1), и затем регулируемым резистором П4 и П5 добиваются отключения выходного реле блока БО. Момент

отключения реле контролируют по загоранию лампочки ЛЗ. Проверяют надежность отключения выходного реле, для чего резистором П7 вначале несколько уменьшают напряжение, а затем, медленно увеличивая его, определяют по вольтметру VI и лампочке ЛЗ момент срабатывания выходного реле блока 1Б0. Если срабатывание реле происходит в допустимых пределах разброса напряжения (не более 5%), окончательно фиксируют положение движков резисторов П4 и П5.

Аналогичным образом резистором П6 регулируют момент отпадания выходного реле блока 2Б0. Момент отпадания выходного реле контролируют по загоранию лампочки Л4.

7. Подъемный сосуд устанавливают в начало пути замедления, но до момента размыкания этого выключателя (ЭВ1 или ЭВ2). Резистором П7 регулируют напряжение на величину, соответствующую максимальной скорости для срабатывания ЭОС2. Галетный переключатель ставят в положение 2, и с помощью резистора П2 добиваются отключения выходного реле блока 1Б0. Описанным ранее способом проверяют надежность отключения реле и затем фиксируют движок резистора П2 в найденном положении. Устанавливая в начало пути замедления второй сосуд (до отключения сельспна) и переводя галетный переключатель в положение 3, резистором П3 получают надежное отключение выходного реле блока 2Б0 и фиксируют в этом положении движок резистора. П3. Контроль момента отпадания выходных реле по-прежнему осуществляется лампочками ЛЗ и Л4.

8. Во время равномерного хода максимальная скорость отключения контролируется напряжением от специальной обмотки трансформатора. Для регулировки величины напряжения срабатывания сосуд устанавливают на любом участке пути движения с максимальной скоростью. Галетный переключатель ставят в положение 2, резистором П7 устанавливают максимальную величину напряжения и, регулируя положение движка резистора П1, добиваются отключения выходного реле блока 1Б0. Проверяют, будет ли отпадать выходное реле блока 2Б0 при переводе галетного переключателя в положение 3 (движки резисторов П7 и П1 не трогают с места). Описанным ранее способом убеждаются в надежности срабатывания выходных реле блоков 1Б0 и 2Б0 и фиксируют положение движка потенциометра П1.

Следует помнить, что, проводя работы по регулированию уставок ограничителя скорости, не следует на долгое время оставлять галетный переключатель в промежуточном положении, а при первой же возможности переводить его в рабочее положение 1. Это делается по избежание перегрева резистора П7.

Оканчивается паладка циклом проверок действия ограничителя скорости, причем самой важной из них является построение фактической кривой срабатывания ограничителя скорости на всем пути замедления по описанному в главе 7 способу. Затем проверяют моменты срабатывания всех этажных выключателей и, наконец, переводя ограничитель скорости в рабочее положение, выполняют серию предохранительных торможений, указанных в главе 7.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вавил В. Н. Трансформаторы напряжения и их вторичные цепи. М., «Энергия», 1967. 104 с.
2. Вешепевский С. М. Характеристики двигателей в электроприводе. М., «Энергия», 1967. 472 с.
3. Голубев М. Л. Релейная защита и автоматика подстанций с короткозамыкателями и отделителями. М., «Энергия», 1965. 64 с.
4. Грудинский Р. Г., Сафразбекия Г. С., Смирнов Л. А., Техническая эксплуатация электрической части станций и подстанций. М., Госэнергоиздат, 1960. 556 с.
5. Елфимов В. М. Векторные диаграммы в релейной защите. М., «Энергия», 1967. 72 с.
6. Злобин Б. В. Измерения и испытания при монтаже силовых трансформаторов. М., Госэнергоиздат, 1962. 64 с.
7. Инструкция по проверке промежуточных и указательных реле. М., «Энергия», 1969. 88 с.
8. Испытание и наладка высоковольтного оборудования. Технические программы пуско-наладочных испытаний Орграс. Вып. I. М., «Энергия», 1965. 63 с.
9. Киричек Ю. Г., Чермалых В. М. Привод шахтных подъемных установок большой мощности. М., «Недра», 1972. 336 с.
10. Кокочин В. Е. Фильтры симметричных составляющих. М., «Энергия», 1968. 270 с.
11. Копляков Н. С., Глинер Э. Б., Смирнов М. М. Основные дифференциальные уравнения математической физики. М., «Физматгиз», 1962. 767 с.
12. Крылов А. Н. О некоторых дифференциальных уравнениях математической физики. Л., изд. АН СССР, 1933. 472 с.
13. Наладка и эксплуатация блоков питания серий БП. М., «Энергия», 1965. 128 с.
14. Правила устройств электроустановок. М., «Энергия», 1964. 456 с.
15. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. М., «Недра», 1973. 280 с.
16. Правила технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок потребителей промышленных предприятий. Изд. 3. Днепрпетровск. «Промінь», 1970. 362 с.
17. Проверка токовых цепей дифференциальных защит трансформаторов и автотрансформаторов. М., «Энергия», 1964. 68 с.
18. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок. М., «Недра», 1970. 511 с.
19. Савин Г. Н., Горошко С. А. Динамика цепи переменной длины. Киев, изд. АН УССР, 1962. 332 с.
20. Стороженко М. А., Кирей А. Ф., Маслий А. К. Аппаратура управления рудными подъемными установками. М., «Недра», 1973. 190 с.
21. Справочник по электроустановкам промышленных предприятий. Наладка электроустановок, т. 3. М., «Энергия», 1965. 980 с.
22. Справочник по релейной защите. М., Госэнергоиздат, 1963. 512 с. Авт.: М. А. Беркович, В. Н. Вавин, И. Л. Голубев и др.
23. Справочник по наладке электроустановок и электроавтоматике. Киев, «Наукова думка», 1972. 624 с. Авт.: С. Е. Васильев, Г. М. Забарский, Е. И. Заборицкий и др.

24. Справочник реле защиты и автоматки. М., «Энергия», 1968. 240 с. Авт.: Л. И. Какушевский, А. Ю. Круплюкий, А. Д. Саков и др.
25. Теория автоматического регулирования. Под ред. В. В. Солодовникова. Кн. 1. М., «Машиностроение», 1967. 768 с.
26. Теория автоматического регулирования. Под ред. В. В. Солодовникова. Кн. 2. М., «Машиностроение», 1967. 679 с.
27. Тун А. Я. Наладка электрических машин электроприводов. М., «Энергия», 1970. 193 с.
28. Федорова З. М. Рудничные подъемные машины. М., Углетехиздат, 1958. 542 с.
29. Федоров М. М. Наладка монтируемых подъемных машин. М., «Недра», 1970. 360 с.
30. Федоров М. М. Монтаж и наладка шахтного стационарного оборудования. М., «Недра», 1974. 431 с.
31. Федоров А. А., Сербиновский Г. В., Большаков Х. М. Справочник энергетика промышленных предприятий. М., Госэнергоиздат, 1961. 519 с.
32. Федосеев А. М. Основы релейной защиты. М., Госэнергоиздат, 1961. 440 с.
33. Флоринский Ф. В. Динамика шахтного каната. М., Углетехиздат, 1955. 260 с.
34. Шпилло В. П. Автоматизированный вентиляционный электропривод. М., «Энергия», 1969. 400 с.
35. Шклярский Ф. Н. Физико-механические основы электрического рудничного подъема. М., Углетехиздат, 1950. 384 с.
36. Черепилов Н. В. Релейная защита. М., «Энергия», 1971. 624 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                            | Стр. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Предисловие . . . . .                                                                                                      | 3    |
| <b>Часть первая. Наладка электрооборудования и аппаратуры подстанций 6—110 кВ</b>                                          |      |
| <b>Г л а в а 1.</b> Методы проверки и наладки отдельных видов аппаратуры цепей управления, защиты и сигнализации . . . . . | 5    |
| § 1.1. Проверка промежуточных и указательных реле . . . . .                                                                | 5    |
| § 1.2. Реле времени . . . . .                                                                                              | 11   |
| § 1.3. Реле максимального тока и напряжения . . . . .                                                                      | 14   |
| § 1.4. Проверка и наладка реле дифференциальных защит типа РНТ . . . . .                                                   | 19   |
| § 1.5. Блоки питания и зарядные устройства . . . . .                                                                       | 24   |
| § 1.6. Испытание и наладка вторичных цепей . . . . .                                                                       | 30   |
| § 1.7. Сборка токовых цепей и наладка дифференциальной защиты трансформаторов . . . . .                                    | 32   |
| <b>Г л а в а 2.</b> Регулирование и наладка электрооборудования и аппаратуры распределительных устройств 6—10 кВ . . . . . | 38   |
| § 2.1. Масляные выключатели . . . . .                                                                                      | 38   |
| § 2.2. Приводы к масляным выключателям . . . . .                                                                           | 61   |
| § 2.3. Трансформаторы тока (ТТ) . . . . .                                                                                  | 65   |
| § 2.4. Трансформаторы напряжения (ТН) . . . . .                                                                            | 67   |
| <b>Г л а в а 3.</b> Регулировка и наладка электрооборудования ОРУ-35—110 кВ . . . . .                                      | 69   |
| § 3.1. Сплотные трансформаторы. Определение условий включения их без сушки . . . . .                                       | 69   |
| § 3.2. Проверка характеристик и испытание трансформаторов . . . . .                                                        | 74   |
| § 3.3. Отделители, короткозамыкатели и разъединители . . . . .                                                             | 88   |
| § 3.4. Вентильные разрядники . . . . .                                                                                     | 99   |
| § 3.5. Трансформаторы тока . . . . .                                                                                       | 100  |
| <b>Часть вторая. Наладка электрооборудования и аппаратуры шахтных механизмов</b>                                           |      |
| <b>Г л а в а 4.</b> Наладка двигателей и генераторов . . . . .                                                             | 102  |
| § 4.1. Общие замечания и сведения . . . . .                                                                                | 102  |
| § 4.2. Общие испытания электрических машин . . . . .                                                                       | 103  |
| § 4.3. Машины постоянного тока . . . . .                                                                                   | 115  |
| § 4.4. Двигатели переменного тока . . . . .                                                                                | 127  |
| <b>Г л а в а 5.</b> Наладка низковольтной аппаратуры . . . . .                                                             | 131  |
| § 5.1. Контакторы и пускатели . . . . .                                                                                    | 131  |
| § 5.2. Автоматические выключатели . . . . .                                                                                | 143  |
| § 5.3. Предварительная наладка электромашиинного усилителя (ЭМУ) . . . . .                                                 | 150  |
| § 5.4. Тахогенераторы . . . . .                                                                                            | 157  |
| § 5.5. Магнитные усилители (МУ) . . . . .                                                                                  | 159  |
| § 5.6. Сельсины . . . . .                                                                                                  | 167  |

|                                                                                                         | Стр. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Глава 6. Наладка схем пуска турбомашин</b>                                                           |      |
| § 6.1. Общие замечания и сведения                                                                       | 170  |
| § 6.2. Наладка схем с электромагнитным возбудителем                                                     | 170  |
| § 6.3. Наладка схем с тиристорами для возбуждения синхронных двигателей                                 | 173  |
| § 6.4. Наладка схем управления (основные рекомендации)                                                  | 175  |
| <b>Глава 7. Наладка основных электрических узлов подъемных машин</b>                                    | 182  |
| § 7.1. Проверочный расчет роторных сопротивлений                                                        | 192  |
| § 7.2. Настройка реле РТУ                                                                               | 192  |
| § 7.3. Пределы настройки реле времени                                                                   | 195  |
| § 7.4. Настройка трехобмоточных реле по току и времени                                                  | 198  |
| § 7.5. Влияние упругости каната на скорость машины во время ее разгона                                  | 199  |
| § 7.6. Задачи динамического торможения                                                                  | 205  |
| § 7.7. Наладка схем динамического торможения                                                            | 216  |
| § 7.8. Условия работы и требования, предъявляемые к ограничителям скорости                              | 220  |
| § 7.9. Схема ограничителя скорости с командоаппаратом РОС                                               | 224  |
| § 7.10. Наладка ограничителя ЭОС-2                                                                      | 233  |
| <b>Глава 8. Общие требования, предъявляемые к схемам автоматизированных подъемных установок</b>         | 250  |
| § 8.1. Общие замечания                                                                                  | 250  |
| § 8.2. Выбор коэффициента усиления автоматизированных подъемных установок                               | 255  |
| § 8.3. Влияние мертвых зон на точность регулирования                                                    | 261  |
| § 8.4. Обратные связи                                                                                   | 262  |
| § 8.5. Влияние упругости каната на скорость подъемной машины                                            | 265  |
| <b>Глава 9. Методы наладки автоматизированных схем</b>                                                  | 281  |
| § 9.1. Общие замечания по программе наладки схемы с асинхронным приводом                                | 281  |
| § 9.2. Динамическое торможение в схеме автоматического регулирования                                    | 286  |
| § 9.3. Применение механического торможения в схемах автоматического регулирования                       | 293  |
| § 9.4. Особенности наладки схемы управления подъемной машиной с приводом Г—Д                            | 308  |
| § 9.5. Использование привода Г—Д для регулирования величины замедления при предохранительном торможении | 317  |
| <b>Приложение I. Влияние динамических усилий в одном канате на другой</b>                               | 323  |
| <b>Приложение II. Методика наладки ограничителя скорости ЭОС-2</b>                                      | 328  |
| <b>Список литературы</b>                                                                                | 330  |

МИХАИЛ МИХАЙЛОВИЧ ФЕДОРОВ,  
ИГОРЬ ВАСИЛЬЕВИЧ НЕСТЕРЕНКО,  
АНДРИАН АНАТОЛЬЕВИЧ СОЛЯНИК

## НАЛАДКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ШАХТНОГО СТАЦИОНАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Редактор издательства Е. Г. Вороновская  
Художественный редактор О. Н. Зайцева  
Переплет художника А. Е. Чучканова  
Техн. редактор Л. Г. Лаврентьева  
Корректор А. П. Стальнова

---

Сдано в набор 28/II 1975 г. Подписано в печать 30/V 1975 г. Т-10425.  
Формат 60 × 90<sup>1/16</sup>. Печ. л. 21,0. Уч.-изд. л. 22,7.  
Бумага № 2. Заказ 110/4456—12. Тираж 7700 экз. Цена 1 р. 30 к.

---

Издательство «Недра». Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.  
Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном  
комитете Совета Министров СССР, по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.  
196006, г. Ленинград, Московский пр., 91.

**Уважаемый товарищ!**

**В издательстве «Недра»  
готовятся к печати новые книги**

**ИВАНЧЕНКО Г. Е. Основы построения и расчета единой телемеханической системы угольной шахты. 12 л. 61 коп.**

В книге приведен критический обзор телемеханических систем, выпускаемых промышленностью для угольных шахт.

Даны обоснование и выбор рациональных принципов построения единой телемеханической системы угольной шахты.

Изложены методы конструирования и расчета многопроводных кодовых телемеханических систем. Книга иллюстрирована примерами, позволяющими выбрать, рассчитать и осуществить палладку такого типа телемеханической системы.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, обслуживающих устройства автоматики, работников научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтов, осуществляющих проектирование телемеханических систем, а также может быть использована в качестве учебного пособия слушателями Института повышения квалификации руководящих работников и специалистов Министерства угольной промышленности СССР и студентами технических вузов.

**МАШИНЫ и оборудование для проведения горизонтальных и наклонных горных выработок. Под общей ред. Б. Ф. Братченко. 50 л. 3 р. 16 к.**

Настоящая монография составлена аналогично вышедшей в 1972 г. под ред. Б. Ф. Братченко монографии «Оборудование для механизации очистных работ в угольных шахтах».

В книге приведены основы выбора вспомогательных схем и средств комплексной механизации проведения горизонтальных и наклонных горных выработок.

Даны описание и технические характеристики проходческих комбайнов, бурильных машин и установок, погрузочных и бурилопогрузочных машин, проходческих комплексов оборудования, призабойных транспортных средств, оборудования для возведения крепи в горных выработках и вспомогательного оборудования.

Книга предназначена для широкого круга инженерно-технических и научных работников производственных, научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций угольной промышленности.

**ОЗЕРНОЙ М. И. Электрооборудование и электроснабжение подземных разработок угольных шахт.** Изд. 5, перераб. и доп. 35 л. 2 р. 10 к.

Предыдущее издание вышло под названием «Горная электротехника».

В книге изложен комплекс вопросов, относящихся к современному электрооборудованию и электроснабжению подземных разработок угольных шахт. Описаны особенности электроснабжения и условия эксплуатации электрооборудования в подземных выработках угольных шахт. Приведены сведения о методах предупреждения и защиты от опасности поражения людей, пожаров и взрывов в шахте от электрического тока. Изложены особенности шахтной аппаратуры защиты и управления. Данное издание дополнено новейшими сведениями об электрооборудовании добычных, проходческих, транспортных и других горных машин, а также о способах и системах электроснабжения горных работ. Изложены методы проектирования подземного электроснабжения, иллюстрируемые примерными расчетами.

Книга предназначена для широкого круга инженерно-технических работников угольной промышленности и может быть использована в качестве учебного пособия для студентов горных вузов и факультетов.

**МЯСНИКОВ Г. В., МОИСЕЕВКО Е. И. Многоскоростные планетарные механизмы в приводах горных машин.** 18 л. 1 р. 09 к.

В книге изложены основные принципы структурно-кинематического синтеза одно- и двухконтурных замкнутых планетарных передач, на основании которых разработан методика выбора оптимального варианта схемы многоскоростного планетарного механизма, удовлетворяющего ряду заданных требований. Кинематические расчеты, методы образования схем планетарных передач, а также методика выбора схемы многоскоростного планетарного механизма иллюстрируются примерами применительно к различным типам горных машин (одноковшовые и роторные экскаваторы, проходческие комбайны, конвейеры).

В приложениях даны схемы одноконтурных и двухконтурных планетарных передач, в которых отсутствует круг циркуляции мощности, и указаны возможные диапазоны их передаточных отношений.

Книга предназначена для работников научно-исследовательских институтов, занимающихся вопросами исследования, расчета и проектирования различных приводных устройств, а также для работников заводов и конструкторских бюро, изготавливающих и конструирующих горные машины.

*Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел «книга—почтой» магазинов:*

№ 17 — 199178, Ленинград, В. О., Средний проспект, 61

№ 59 — 127412, Москва, И-412, Коровинское шоссе, 20

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»**

