

## НАЛАДКА АППАРАТОВ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

### НАЛАДКА КОНТАКТОРОВ, МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ

1. Осмотр контакторов. Контактторы должны быть очищены от заводской смазки, пыли, грязи и протерты сухой и чистой тряпкой. Проверяется соответствие проекту типа и номинальных данных контактора, целость всех электрических соединений. Подтягиваются ослабленные крепления. Опробывается от руки подвижная система на отсутствие заеданий. Проверяется одновременность замыкания и размыкания главных контактов и правильность действия вспомогательных контактов.

В случае выявления на контактных поверхностях застывших капель меди они зачищаются мелкой стеклянной (но не наждачной) бумагой или бархатным напильником. Смазка контактных поверхностей не допускается, так как от дуги она выгорает и продуктами горения загрязняет контактные поверхности, что увеличивает нагрев контактов. При зачистке контактных поверхностей необходимо строго сохранять первоначальную форму (радиус закругления, профиль) контактов для того, чтобы сохранить их необходимое перекатывание. Зачищать надо только капли и наплывы до выравнивания поверхности, но не до выведения раковин.

Контакты должны касаться линейно по всей ширине без просветов, постепенно перекатываясь при замыкании с незначительным скольжением. При эксплуатации это будет способствовать поддержанию их поверхности в хорошем состоянии.

2. Измерение и регулировка нажатия на контактах. Проверка растворов, провалов и нажатий главных и вспомогательных контактов производится на мощных и ответственных контакторах; при необходимости осуществляется их регулировка.

Растворы, провалы контактов и давлений на контактах должны соответствовать требованиям табл. 6-1. и 6-2. Раствор Аи провал В главных контактов замеряют шаблоном или нутромером в местах, показанных на рис. 6-1, Для мостиковых вспомогательных контактов эти места даны на рис. 6-2.

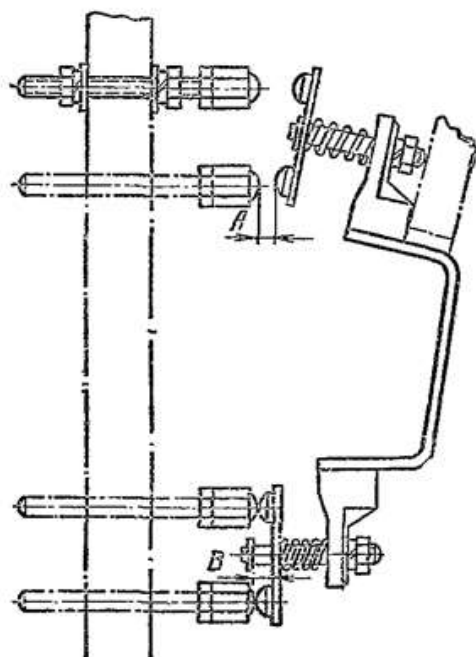


Рис. 6-2. Проверка раствора и провала мостиковых вспомогательных контактов.

*A* — раствор; *B* — провал.

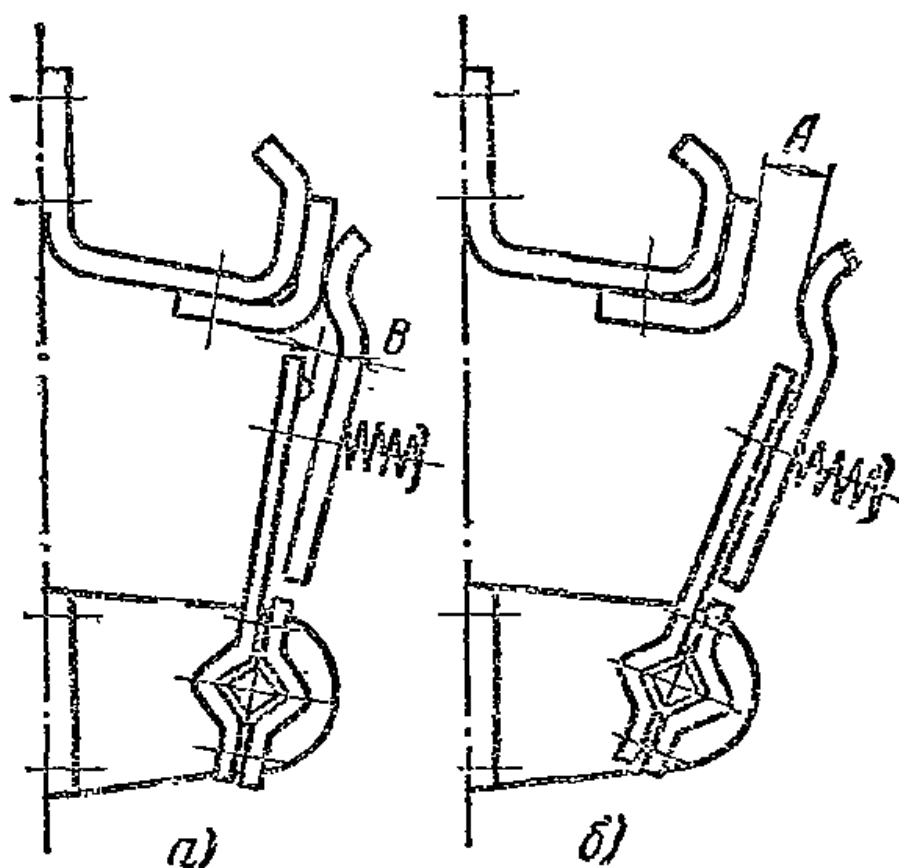


Рис. 6-1. Проверка раствора и провала главных контактов.

*a* — раствор; *б* — зазор, контролирующий провал.

Места измерений начального и конечного нажатия главных контактов показаны на рис. 6-3; значения силы нажатий - содержатся в табл. 6-1 и 6-2. Начальная сила нажатия на мостик вспомогательного контакта должна быть в пределах 0,58-2,4 Н (большее значение для контакторов больших габаритов), конечная около 3 Н.

Таблица 6-1

Основные технические данные контакторов серии МК-1

Тип контактора	Количество главных контактов		Номинальный ток главных контактов, А		Главные контакты			Блокировочные контакты		
	замыкающих	размыкающих	замыкающих	размыкающих	Сила нажатия на мостик, Н	Расстор, мм	Провал, мм	Сила нажатия на мостик, Н	Расстор, мм	Провал, мм
МК1-10	1	—	40	—	4,9—6,86	4—6	2—3	0,69—0,98	5—7	2—3,5
МК1-11	1	1	40	25	4,9—6,86		2—3			
МК2-20	2	—	40	—	1,96—2,94		2—4			
МК1-21	2	1	40	25	1,96—6,86		2—3			
МК1-22	2	2	25	25	4,9—6,86		2—3			
					1,96—2,94		2—4			
МК1-01	—	1	—	25	2,94—3,92		2—3			
					1,96—2,94		2—4			
МК1-02	—	2	—	25	1,96—3,92		2—4			
МК1-30	3	—	40	—	1,96—2,94		2—4			
					4,9—6,86		2—3			

Примечания: 1. Магнитная система контакторов имеет две втягивающие катушки, которые при напряжении цепи управления контактора 24 и 110 В соединяются параллельно, при напряжении 48 и 220 В — последовательно.

2. Собственное время включения контактора 0,05—0,07 с, время отключения 0,04—0,05 с.  
3. Потребляемая мощность втягивающих катушек 30 Вт.

Провал контактов определяется путем замера зазора при замкнутых контактах от подвижного контакта до его упора.

Регулировка начального нажатия производится изменением начального сжатия (растяжения) встроенной контактной пружины, изменением ее длины за счет изменения числа шайб или регулировочными болтами; в некоторых случаях требуется замена пружины.

Для контакторов с искрогасительными контактами необходимо проверить расстояние между главными контактами в момент касания искрогасительных, для чего якорь магнитной системы контактора от руки медленно подводится к сердечнику до момента соприкосновения искрогасительных контактов. Зазор между главными контактами в этот момент должен быть не менее 1,5 мм.

Таблица 6-2

Основные технические данные контакторов постоянного тока серий КП-7 и КП-207. Номинальный ток 2500 А, номинальное напряжение до 600 В

Тип контактора	Втягивающие катушки		Собственное время, с		Рассторы (провалы) контактов, мм			Нажатие на контакт, Н			
	Напряжение, В	Сопротивление одной катушки, Ом	замыкания	размыкания	главных	дугогасительных	вспомогательных контактов	начальное		конечное	
								главный	дугогасительный	главный	дугогасительный
КП-7	110 220	12,5 50	0,17—0,35	0,08—0,15	19,5—25,5 (5—10)	28,5—36,5 (10,5—15,5)	Не менее 6—8	88,2—118	78,5—118	114—148	126,5—186
КП-207	110 220	4 17	0,25	0,05—0,08							

Примечания: 1. Контактники могут выполняться со встроенными максимальными реле мгновенного действия, калибруемыми на токи 2500, 3750 и 5000 А.

2. Втягивающие катушки контакторов соединяются между собой последовательно и с экономическим сопротивлением: для КП-7 110 В, 42 Ом; 220 В, 180 Ом; для КП-207 110 В, 30 Ом; 220 В, 105 Ом.

Если это расстояние меньше, то контакты следует заменить или отрегулировать болтовыми соединениями по заводской инструкции.

3. Проверку напряжения втягивания и отпадания контактов удобно производить по схемам рис. 6-4. Пакетный выключатель  $Q$ , шунтирующий вспомогательный контакт контактора  $KM1$  при определении напряжения отпадания, должен быть разомкнут. При отсутствии регулировочного автотрансформатора можно воспользоваться трансформаторами 220/36 В, включив их по схеме автотрансформатора (рис. 6-5). При таком включении на катушке контактора напряжение будет равно минимально допустимому рабочему ( $0,85 U_n$ ) сети.

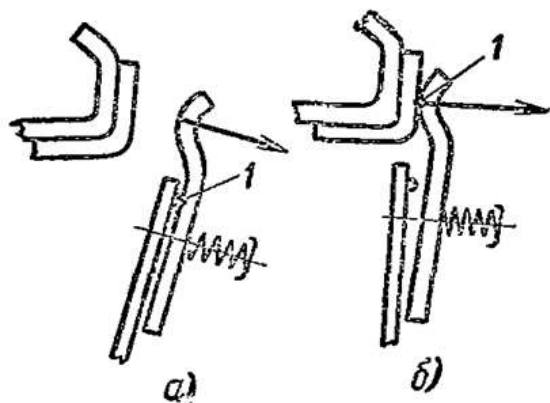


Рис. 6-3. Измерение нажатий главных контактов.

$a$  — начального;  $b$  — конечного.

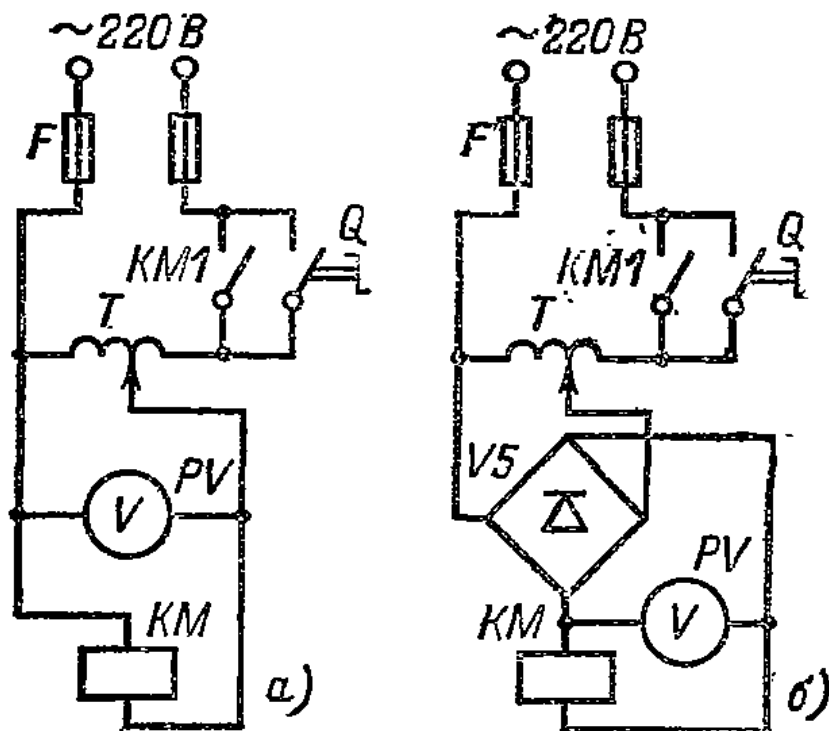


Рис. 6-4. Схемы проверки напряжения втягивания и отпадания контакторов от сетевого напряжения.

$a$  — переменного тока;  $b$  — постоянного тока.

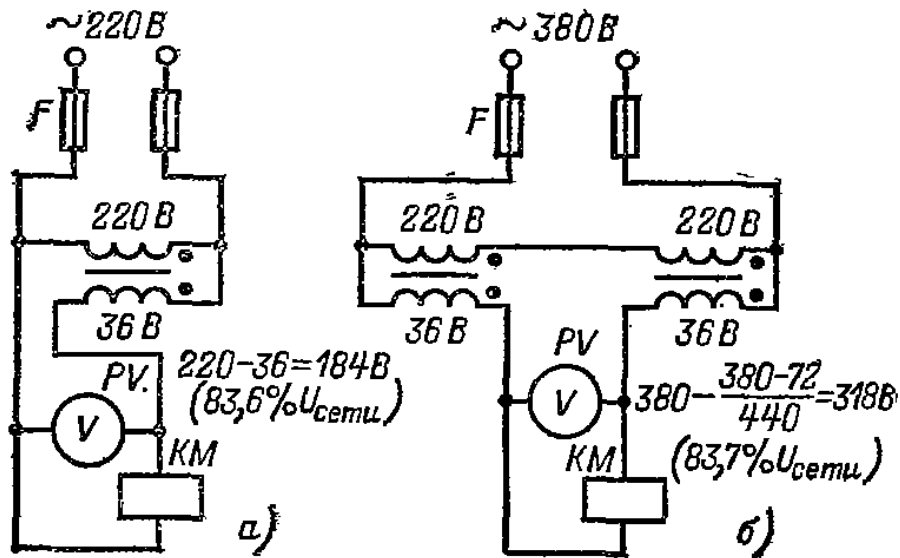


Рис. 6-5. Схема проверки напряжения втягивания контакторов переменного тока с использованием трансформаторов 220/36 В.

а — включение катушки 220 В; б — то же 380 В.

Напряжение втягивания и отпадания контакторов постоянного тока необходимо проверять при нагретой втягивающей катушке до номинально допустимой температуры 70 °С. При измерениях с холодного состояния для уточнения результатов нужно внести поправку на отклонение температуры окружающей среды от 20 °С; каждым  $\pm 10^\circ\text{C}$  соответствует изменение напряжения втягивания на  $\pm 2,5\text{-}3\%$  номинального напряжения.

Контакторы должны четко включаться при подаче 85 % номинального напряжения.

Напряжение отпадания контакторов нормами не лимитируется. Оно должно быть замерено и внесено в протокол.

Согласно ПУЭ-76 (§ 1-8-34) проверка напряжения втягивания контакторов не обязательна, а контакторы испытываются многократным включением и отключением пониженным напряжением: на включение  $0,9 U_n$  5 раз, на отключение  $0,8 U_n$  10 раз. Это испытание может быть заменено проверкой работы контакторов при комплексном опробовании схем, когда напряжение источника оперативного тока снижается до 80 % номинального.

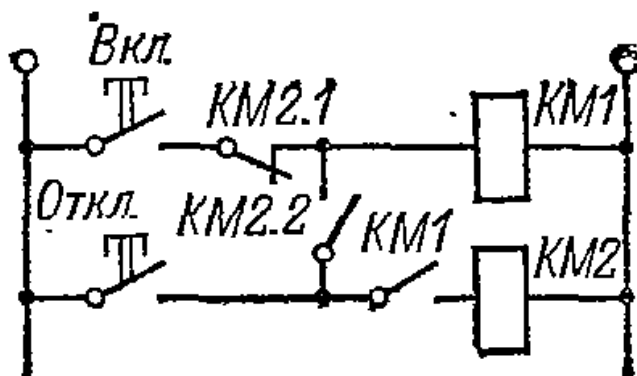
4. Проверка магнитной системы. При включении катушки контактора переменного тока на номинальное напряжение может появиться сильное гудение контактора, что указывает на неисправность его магнитной системы. Для устранения неисправности магнитной системы необходимо проверить чистоту соприкасающихся поверхностей якоря и сердечника, отсутствие консервирующей смазки, точность пригонки подвижной и неподвижной частей магнита, наличие неповрежденного короткозамкнутого витка, уложенного в прорези сердечника.

Для проверки плотности прилегания якоря к ярму между ними прокладывают листок копировальной и листок тонкой белой бумаги, а контактор замыкают вручную. По величине пятна на белой бумаге судят о качестве прилегания якоря. Если обе половинки магнитной системы соприкасаются только частью менее 60-75 % своей поверхности, а в других местах имеется зазор (более 0,03- 0,05 мм), то якорь нуждается в подгонке.

Короткозамкнутый виток изготавливается сплошным (без мест соединения) или на сварке (пайка не допускается) и должен быть плотно зажат в своем пазу. Крепление витка производится подгибанием предназначенных для этого пластин, забиванием в паз узких клиньев или накернированием края паза. Замена материала короткозамкнутого витка, изменение его сечения или средней длины недопустимы, так как в этих случаях виток может настолько перегреться, что перегреет катушку, а контактор начнет гудеть. Нормальная температура нагрева короткозамкнутого витка 200 °С.

5. Проверка контактора с защелкивающим механизмом. На рис. 6-6 приведена схема управления контактором с защелкивающим механизмом. При подаче импульса на включение контактора втягивающая катушка *КМ1* получает питание через размыкающий вспомогательный контакт *КМ2.1* защелкивающего механизма, притягивает якорь контактора и защелка опускается; вспомогательный контакт защелки *КМ2.1* размыкает цепь втягивающей катушки, а вспомогательный контакт защелки *КМ2.2*, замыкаясь, подготавливает цепь отключения. При отключении на втягивающую катушку *КМ1* подается напряжение одновременно с катушкой защелки *КМ2*. Втягивающая катушка притягивает якорь контактора и тем самым снимает с защелки усилие, создаваемое якорем во включенном положении, и позволяет катушке *КМ2* легко поднять защелку. После ее поднятия контактом *КМ2.2* контактор отключается и приводит схему в исходное положение.

**Рис. 6-6. Схема включения контактора с защелкивающимся механизмом.**



При осмотре контактора с защелкивающимся механизмом необходимо проверить работу последнего включением контактора вручную. При проверке работы контактора под напряжением проверяется и работа контактов защелки. В случае неудовлетворительного гашения дуги на вспомогательных контактах *КМ2.1* защелки параллельно им подключают конденсатор емкостью 1 мкФ (типа МБГЧ на 250 В для сети 220 В).

## **МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ (ИЗМЕРЕНИЙ) КОНТАКТОРОВ И ПУСКАТЕЛЕЙ**

В большинстве схем управления электроприводом для включения двигателей применяют контакторы, а также магнитные и бесконтактные (тиристорные) пускатели. С их помощью осуществляется дистанционное и автоматическое включение и отключение приводного двигателя, пусковых и регулировочных сопротивлений, отключение аварийных участков сети, включение тормозных электромагнитов и других вспомогательных устройств.

Контакторы и пускатели чаще всего комплектуются заводами-изготовителями вместе с аппаратурой управления и защиты в специальные блоки, панели, щиты и станции управления соответственно проектным схемам и поставляются потребителю проверенными и отрегулированными. Нередко на монтаж магнитные пускатели поступают россыпью, тогда проектную схему монтируют полностью на месте.

Контакторно-релейная аппаратура, поступающая на монтаж, в большинстве случаев нуждается в предварительной проверке и механической регулировке, так как при транспортировке могут ослабнуть крепления, а при длительном хранении может образоваться коррозия, вызывающая заедание подвижных систем и нарушающая проводимость контактных поверхностей.

При первоначальной наладке аппаратов на месте монтажа проверяют внешним осмотром: соответствие типа аппарата и параметров втягивающей катушки проекту или реальным нагрузкам, отсутствие консервирующей смазки и транспортных креплений, наличие всех деталей магнитной системы и возвращающих пружин; состояние гибких соединений, наличие и состояние искрогасительных камер, наличие немагнитной прокладки или короткозамкнутого витка и их состояние, наличие крепежных болтов, гаек, плоских и пружинных шайб и качество крепления; целостность опорных призм или подшипников; состояние главных и вспомогательных контактов и их пружин. Кроме того, вручную проверяют: отсутствие заедания подвижной системы; одновременность замыкания и размыкания главных контактов; наличие и размеры провалов главных и вспомогательных контактов; правильность действия вспомогательных контактов; плотность прилегания магнитопроводов. Правильность работы контактов и жесткость пружин оценивают при проверке и наладке сравнением с иными контакторами данного типа (в случае крайней необходимости – по каталожным данным). При замыкании и размыкании должно происходить скольжение одного контакта относительно другого (перекатывание).

Размеры растворов и провалов указаны в специальных таблицах завода-изготовителя. При несоответствии измеряемых и заводских данных выполняют дополнительную регулировку контактов.

Изоляцию контакторов, катушек, контакторно-релейной и другой аппаратуры проверяют при контроле изоляции цепей вторичной коммутации всей схемы управления и силовых цепей установки. Отдельно аппараты отключают только в том случае, если требуется отыскание участка с низкой изоляцией.

Далее проводят испытание работы аппарата подачей на его катушку оперативного тока. При этом проверяют у контакторов постоянного тока исправность катушки, правильность установки пружин, свободный ход подвижной части, правильность зазоров, а у контакторов переменного тока и поведение магнитной системы. Если вибрация магнитной системы значительная и якорь гудит, проверяют прилегание якоря при включении, наличие перекосов. При недостаточном прилегании или перекосах выполняют дополнительную механическую регулировку, а при необходимости – пришлифовку полюсов. Далее контролируют работу схемы, четкость включения и отключения аппаратов при номинальном и пониженном напряжении включения до  $0,9 U_{ном.}$ , отключения до  $0,8 U_{ном.}$  на шинках оперативного тока. Если при пониженном напряжении четкость включения аппаратов снижается или они не срабатывают, проверяют и регулируют напряжение втягивания и отпадания контакторов или магнитных пускателей по схемам, показанным на рис. 2, а, б.

Чаще всего встречаются следующие неисправности пускателей и контакторов:

- вибрация магнитопровода пускателей и контакторов переменного тока, вызванная отсутствием короткозамкнутого витка, загрязнением плоскостей прилегания электромагнитов или неплотным прилеганием поверхностей электромагнитов;

- повышенный нагрев катушек пускателей или контакторов, что объясняется малым экономическим сопротивлением у контакторов постоянного тока и увеличенным зазором среднего стержня у контакторов и пускателей переменного тока;

- подгорание, глубокая коррозия контактов, что объясняется не одновременностью их касания, недостаточным начальным нажатием контактов, их вибрацией при касании.

## **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И АППАРАТОВ УПРАВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4КВ.**

## Область применения

Рекомендации настоящей методики применяются при проведении проверки и испытаний автоматических выключателей, аппаратов защиты электродвигателей от перегрузки (тепловые и другие виды реле), различных пускателей и простых реле, а также выключателей нагрузки на

напряжение до 1кВ.

Аппараты, служащие для включения и отключения главных цепей в системах, генерирующих электрическую энергию и передающих её потребителям, - это коммутационные аппараты распределения энергии.

Они включают или отключают цепь при воздействии обслуживающего персонала или автоматически.

Коммутационные аппараты распределения энергии выполняют две функции:

- Неавтоматическое включение и отключение электрических цепей,

которые производятся, когда надо подать или снять питание электроэнергией участка сети

- Автоматическое отключение электрических цепей в случае появления в них каких-либо явлений, угрожающих безопасности обслуживающего персонала или сохранности установки (например, в случае коротких замыканий). Иногда аппараты осуществляют автоматическое включение резервного источника питания или автоматическое повторное включение после аварийного отключения.

Различают следующие группы коммутационных аппаратов:

- Автоматические выключатели (автоматы)
- Плавкие предохранители (предохранители)
- Неавтоматические выключатели

Иногда указанные аппараты устанавливают вместе с аппаратурой управления в устройствах для управления электроприводом (станциях управления, магнитными пускателями и др.).

Контакты, пускатели, реостаты, реле, осуществляющие защиту и управление работой электропривода, называют аппаратами управления.

Ненормальными являются такие режимы, при которых появляется чрезмерное снижение напряжения, и, в особенности, протеканию сверхтока

(тока большего номинального).

Чрезвычайное снижение напряжения может привести к остановке электродвигателя, а затем при внезапном восстановлении полного напряжения - к запуску его в неподходящий момент. Поэтому иногда на ответственных ответвлениях к приёмнику применяют автоматические выключатели, отключающие цепь при снижении напряжения

до 35-70% от номинального. Повторное включение должно производиться при воздействии оператора.

Наиболее опасным и часто встречающимся ненормальным режимом является протекание сверхтока при коротком замыкании или чрезмерном потреблении тока приёмниками электрической

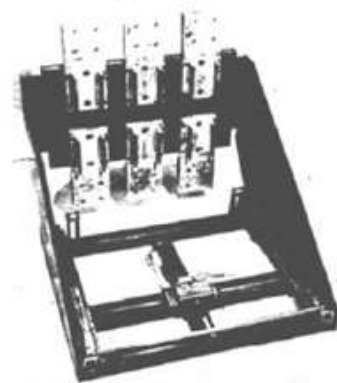


Рисунок 1. Внешний вид автомата AR с установочным устройством.

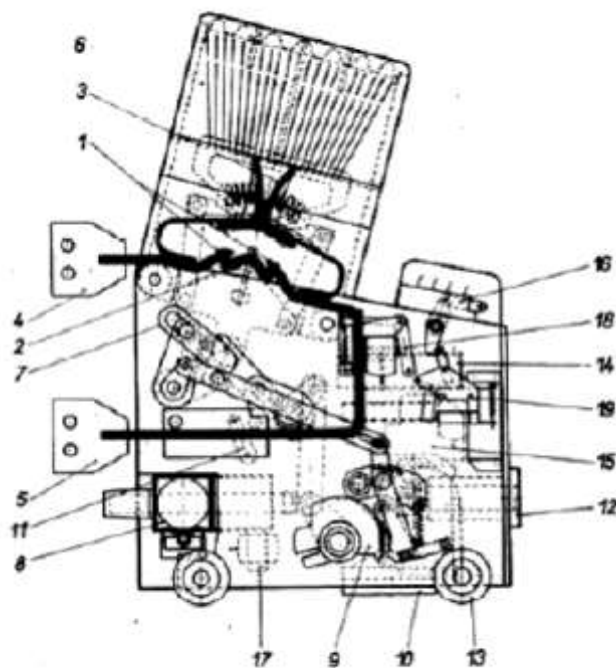


Рисунок 2. Автомат AR





перемещающимися контактами.

Автоматы делятся на небыстродействующие и быстродействующие.

Быстродействующие характеризуются собственным временем срабатывания, то есть временем от появления тока короткого замыкания до начала расхождения контактов.

К небыстродействующим относятся автоматы, к которым обычно не предъявляются специальные требования по быстродействию или эти требования невысокие. Для удержания контактной системы во включённом положении в них применяются защёлки. Эти автоматы имеют собственное время срабатывания от 10 до 100 мс и не обладают токоограничивающим действием.

По конструктивному оформлению различают автоматы с пластмассовой крышкой и корпусом ( на токи до 630А включительно) и автоматы без корпуса и крышки (на токи от 630 до 1000А включительно).

Быстродействующие автоматы, изготавливаемые на номинальные постоянные токи 1500-15000А, имеют собственное время отключения при больших токах не более 5 мс. Их характерная особенность - вся конструкция подчинена требованию повышения быстродействия. На рисунке 1 изображен автоматический выключатель серии АЯ в выкатном исполнении. Для гашения дуги над контактами выключателя установлены искрогасительные камеры (рисунок ). Обе шины автомата (1) на выводных концах снабжены вертикальными присоединительными флажками (4,5), которые позволяют выполнить непосредственное закрепление выдвигных

контактов. Цепь дугогасительных контактов образуют два подвижных дугогасительных контакта (3), которые посредством гибких медных поясов присоединены к цепи главных контактов. Мгновенное отключение обеспечивает пружинный аккумулятор (8) посредством рычажной передачи и расцепляющего механизма (7). Включение автомата производится либо с помощью кнопки на лицевой панели, либо с помощью включающего электромагнита (17). Отключение также осуществляется с помощью кнопки и1082 красного цвета, либо с помощью электромагнита (18). Натяжка аккумулятора осуществляется автоматически, после включения автомата, приводом (10). Вручную данную операцию можно осуществить посредством рычажной передачи (9).

Автоматические выключатели серии ВА могут выполняться в различных модификациях. Для этого на автомат устанавливаются дополнительные части, которые обеспечивают его выкатное исполнение (рисунок 3 нижняя часть), стационарное исполнение (рисунок 3 середина) или стационарное исполнение с ручным исполнением (рисунок 3 верхняя часть).

## Определяемые характеристики.

### Внешний осмотр.

Внешним осмотром определяется состояние доступных осмотру деталей автоматических выключателей и аппаратов управления, на предмет видимых нарушений, наличия сколов изоляционных материалов, отсутствия деталей крепления и т.п.

Операция	Напряжение оперативного тока	Количество операций
Включение	0,9Ином	5
Отключение	0,8Ином	5

### Измерение сопротивления изоляции.

Измерение сопротивления изоляции производится между каждым проводом (полюсом) аппарата и землёй, а также между каждыми двумя проводами (полюсами). Сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм.

При измерении сопротивления изоляции автоматических выключателей совместно с присоединёнными к ним кабелями и проводами, сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 Мом.

### **Испытание повышенным напряжением.**

Испытание производится при вводе в эксплуатацию, капитальных ремонтах, а также при неудовлетворительных результатах измерения изоляции.

Значение испытательного напряжения 1 кВ 50 Гц. продолжительность испытания 1 минута. В процессе текущих ремонтов допускается вместо испытания переменным напряжением производить одномоментное измерение изоляции мегомметром на напряжение 2500В.

### **Проверка действия максимальных, минимальных или независимых расцепителей автоматов и аппаратов управления.**

Работа расцепителей должна соответствовать заводским данным и требованиям обеспечения защитных характеристик.

**Проверка работы контакторов и автоматов при пониженном напряжении оперативного тока.** Значение напряжения срабатывания и количество операций приведены в таблице 1.

### **Проверка предохранителей.**

Плавкая вставка предохранителей должна быть калибрована.

## **Условия испытаний и измерений**

Испытание автоматов и аппаратов управления производят при температуре окружающей среды не ниже +10<sup>0</sup>С.

Проверку максимальных расцепителей автоматов и пускателей следует производить с учётом введения поправок по температуре т.к. температура максимальных расцепителей выполненных на основе биметалла оказывает значительное влияние на временные характеристики автоматов. Поправки по току на температуру указаны в таблице 2.

Влажность окружающего воздуха имеет значение при проведении высоковольтных испытаний, т. к. конденсат на изолирующих частях аппаратов может привести к пробое изоляции и, соответственно, к выходу из строя оборудования (как испытательного, так и испытуемого). Перед проведением высоковольтных испытаний аппараты следует протереть от пыли, грязи и влаги.

Атмосферное давление особого влияние на качество проводимых испытаний не оказывает.

## **Средства измерений.**

Автоматы и аппараты управления подвергаются испытаниям в собранном виде, с установленными на них всеми деталями и узлами, которые могут повлиять на результат испытаний.

Перед испытанием производится внешний осмотр, проверка целостности корпусов и изоляции. сопротивления изоляции производят мегомметрами на напряжение 1000В и 2500В.

Измерение сопротивления контактов и контактных соединений внутри аппаратов производится мостами постоянного тока (например Р 333), которые позволяют произвести замеры с точностью до 0,001 Ом, или методом амперметра и милливольтметра. При проведении замеров методом амперметра-вольтметра рабочий ток не должен превышать номинальный ток данного аппарата.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты производят с помощью различных установок, которые состоят из следующих элементов: испытательного трансформатора, регулирующего устройства, контрольноизмерительной и защитной аппаратуры. К таким аппаратам можно отнести установку АИИ - 70, АИД - 70, а также различные высоковольтные испытательные трансформаторы, которые обладают достаточным уровнем защиты и надлежащим уровнем подготовлены для проведения испытаний. Для контроля качества болтовых соединений используют слесарные инструменты в виде гаечных ключей и т.п.

## **Порядок проведения испытаний и измерений.**

### **Внешний осмотр.**

Внешний осмотр автоматов и аппаратов управления производится со вскрытием корпуса. Осмотру подвергаются все внутренние соединения и части выключателя, работа механизма включения и отключения, состояние изоляционных деталей, катушек и блок-контактов.

Таблица 2

Температура среды	Ток автоматического выключателя										
	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160
10	54	67	84	110	141	175	212	269	339	424	538
12	53	67	83	109	139	174	210	267	337	421	534
14	53	66	83	108	138	172	209	265	334	418	530
16	53	66	82	107	137	171	207	263	332	415	527
18	52	65	82	106	135	169	206	261	329	411	523
20	52	65	81	105	134	167	204	259	327	408	519
22	51	64	80	104	132	166	203	257	324	405	515
24	51	64	80	103	131	164	201	255	321	402	511
26	51	63	79	103	130	162	199	253	319	398	507
28	50	63	78	102	128	160	198	252	316	395	504
30	50	62	78	100	127	159	196	250	313	392	500
32	49	62	77	100	124	157	195	248	311	388	495
34	49	61	76	99	123	155	193	246	308	385	492
36	48	61	76	98	121	153	192	244	305	381	488
38	48	60	75	97	120	151	190	242	302	378	483
40	48	60	75	96	120	150	189	240	300	375	480
Температура среды	Ток автоматического выключателя A3720 A3730 и A3740										
	160	200	250	250	320	400	500	630			
10	536	679	849	856	1106	1376	1698	2141			
12	532	675	843	849	1097	1366	1686	2124			
14	529	669	837	843	1087	1355	1674	2109			
16	525	664	831	836	1078	1344	1658	2089			
18	521	659	824	829	1068	1332	1647	2075			
20	518	654	818	822	1058	1320	1631	2055			
22	514	649	811	815	1050	1308	1619	2039			
24	510	643	804	807	1039	1296	1604	2019			
26	506	638	798	800	1030	1286	1592	2005			
28	503	633	791	793	1020	1275	1582	1994			
30	499	627	784	787	1011	1261	1571	1979			
32	495	622	777	780	1000	1248	1556	1960			
34	491	616	770	772	991	1246	1541	1943			
36	487	610	763	765	980	1224	1527	1920			
38	483	605	756	757	970	1212	1515	1909			
40	480	600	750	750	960	1200	1500	1890			

### Измерение сопротивления изоляции.

Измерение сопротивления изоляции производится при полностью собранных аппаратах, а также при закреплении аппарата на основании. Измерение производится между каждым двумя фазами и между каждой фазой и землёй отдельно. Если аппарат имеет катушки включения и отключения, то сопротивление изоляции измеряется между ними и фазами аппарата и между катушками и землёй отдельно. Полностью изолированные аппараты следует сначала установить на металлическое основание. Схемы для проведения измерения сопротивления изоляции приведены на рисунке , в качестве примера рассматривается автоматический выключатель.

### Испытание изоляции повышенным напряжением.

Испытание производится пофазно с заземлением свободных от испытания фаз и полностью собранных аппаратах с установкой всех деталей, которые могут оказать влияние на результат испытания.

Схема, по которой проводится испытание, представлена на рисунке 5.

Если испытуемый аппарат установлен на металлическое основание, то при поведении испытаний оно также должно быть заземлено.

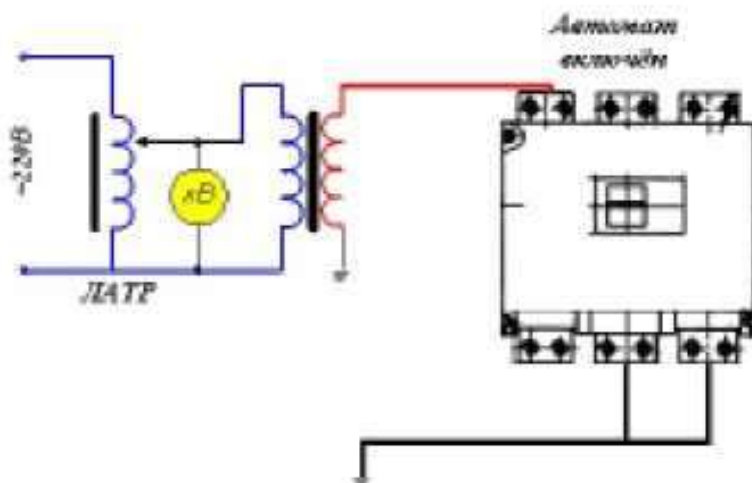


Рисунок 5. Испытание повышенным напряжением

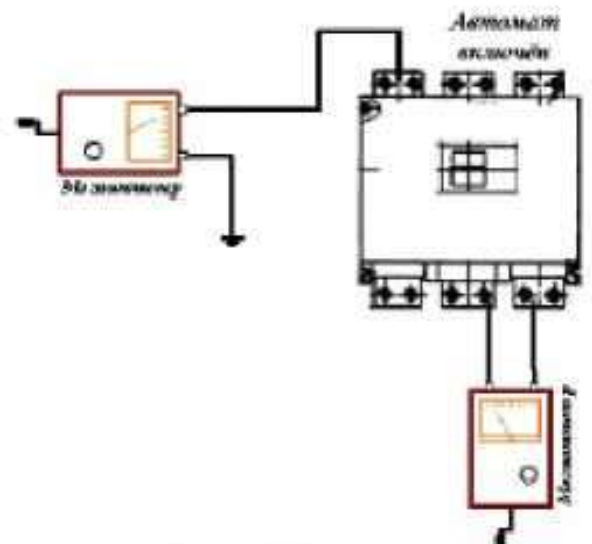


Рисунок 4. Измерение контактного сопротивления автомата.



## Проверка действия максимальных, минимальных и независимых расцепителей.

Проверка действия расцепителей производится в соответствии со схемой на рисунке 6. Для регистрации времени срабатывания аппарата используют электрические секундомеры, которые подключают на свободные фазы автоматического выключателя или на блок-контакты аппаратов управления.

Проверку максимальных расцепителей автоматических выключателей производят трёхкратным током расцепителя (если нет других указаний в паспорте автомата) с поправкой на температуру (смотри выше).

Расцепители автоматов с полупроводниковыми блоками защиты проверяют током блока защиты (обычно шестикратным). Временные характеристики различных автоматов приведены в приложении к данной методике. Проверка производится из «холодного» состояния автомата. Произведя проверку одной фазы, можно сразу произвести переключения и приступить к проверке следующей.

Проверка времени срабатывания тепловых реле защиты электродвигателей производится в соответствии со схемой рисунка 6 (как для автомата), за исключением того, что секундомер включается на блок-контакт реле. Ток для проверки выбирают исходя из паспортных данных: при наличии времятоковых характеристик для конкретного реле ток прогрузки равен трёхкратному току реле (проверка из холодного состояния). После проверки трёхкратным током и остывания теплового элемента на реле подаётся ток равный  $1,2I_n$ , при этом реле должно отключиться за время равное 20 минутам.

Проверку электромагнитных расцепителей автоматических выключателей и расцепителей отсечки у выключателей с полупроводниковыми блоками защиты проводят по схеме на рисунке 6, при этом сначала выставляется ток равный  $0,81I_{расц}$  и проверяется устойчивое несрабатывание выключателя, а затем установив ток равный  $1,1I_{расц}$  проверяется срабатывание выключателя за определённое время засекаемое секундомером. Величина времени при проверке электромагнитных расцепителей и защиты отсечки полупроводниковых очень небольшая!

На основе полученных результатов производится построение индивидуальной характеристики данного автоматического выключателя (реле защиты).

### Проверка работы контакторов и автоматов при пониженном напряжении оперативного тока

Проверку производят по схемам рисунка 6. Соответственно производят изменение оперативного тока для проверки включения или отключения.

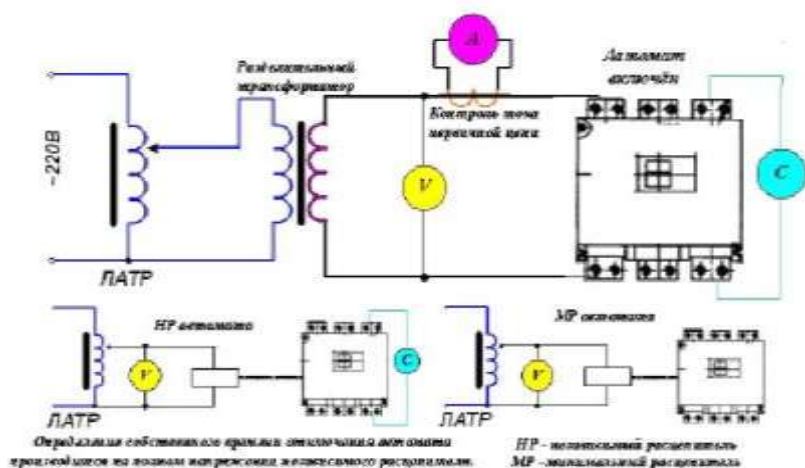


Рисунок 6. Проверка действия максимальных расцепителей автоматических выключателей, независимых и минимальных расцепителей.

Время-токовые характеристики с холодного состояния выключателя на 31,5А и 63А

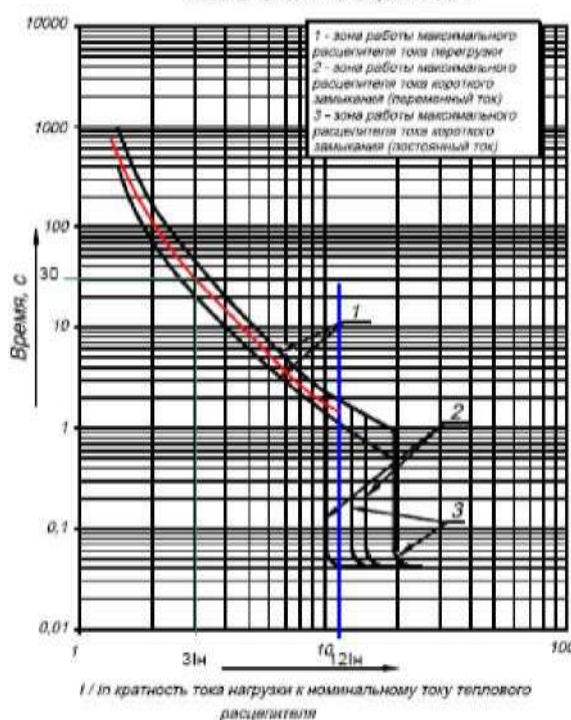


Рисунок 7. Построение индивидуальной время-токовой характеристики автоматического выключателя типа ВА 57-31 с уставкой электромагнитного расцепителя  $12I_n$ .

## **Обработка данных, полученных при испытаниях.**

Первичные записи рабочей тетради должны содержать следующие данные:

- дату измерений.
- температуру окружающего воздуха
- наименование, тип, заводской номер оборудования
- номинальные данные объекта испытаний
- результаты испытаний
- результаты внешнего осмотра
- используемую схему

Все данные испытаний сравниваются с требованиями НТД и на основании сравнения выдаётся заключение о пригодности объекта к эксплуатации.

На основе полученных данных времени срабатывания расцепителей автоматических выключателей и образцовых времятоковых характеристик для данных типов автоматов производится построение индивидуальной времятоковой кривой для конкретного автоматического выключателя (или группы, если автоматические выключатели группы примерно соответствуют друг другу).

На рисунке 7 показаны принципы построения индивидуальной времятоковой характеристики автоматического выключателя на основе образцовой. На образцовой характеристике по оси времени откладывается полученное значение при испытании зависимого (максимального расцепителя) расцепителя автоматического выключателя. На рисунке условно принято время срабатывания в 30 секунд. От полученной точки на кривой откладывают линии параллельные образцовым для данного автомата - полученная кривая и будет являться индивидуальной для данного автоматического выключателя.

### **Требования к квалификации персонала.**

Испытания производит специально обученный персонал электролаборатории в соответствии с требованиями правил техники безопасности

### **Требования к безопасности выполняемых работ.**

Работа должна выполняться в соответствии с инструкцией по охране труда.





## ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА ТЕПЛОВЫХ РЕЛЕ.

Осмотр реле (рис. 6-7). С магнитопровода и сердечника снимается заводская смазка; поверхности прилегания якоря и сердечника протираются чистой тряпкой, смоченной в бензине.

При внешнем осмотре проверяется работа подвижной системы: легкость хода, отсутствие затираний и перекосов. Якорь реле должен легко поворачиваться на острие призмы: поверхности призмы качения якоря должны быть чистыми и гладкими; якорь должен прилегать к сердечнику без зазора; поверхность якоря должна быть ровной, без выступов и кривизны, в противном случае ребра якоря при включении реле могут смять немагнитную прокладку, последняя должна плотно прилегать к якорю и не пружинить.

Проверяется отсутствие затирания подвижной системы при включении якоря от руки; при поджатии якоря к сердечнику витки пружины не должны касаться друг друга, в противном случае необходимо несколько ослабить пружину и одновременно увеличить зазор  $\delta$  между якорем и сердечником (см. рис. 6-7).

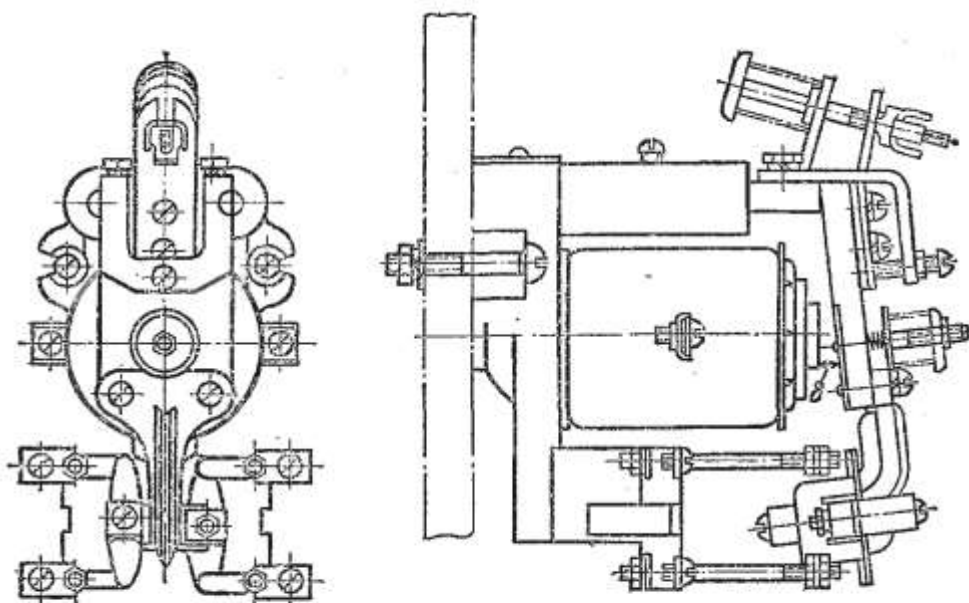


Рис. 6-7. Общий вид реле типа РЭ-811.

Не допускается зазор между сердечником и ярмом, так как впоследствии при работе это может привести к изменению выдержки времени и быстрому взносу сердечника; катушка не должна иметь следов нарушений поверхностной изоляции и вмятин, контактные выводы катушек должны быть жестко закреплены в поверхностном слое изоляции. Деформированные при транспортировке или монтаже контактные стойки необходимо выпрямить; подвижные контакты должны касаться неподвижных одновременно, по центру контактов; при наличии нагара на контактах поверхности касания их должны, быть очищены острым лезвием или надфилем; после зачистки контакты протирают чистой ветошью. Смазка не допускается.

Проверка контактной системы. При включении реле вследствие удара якоря об упорный болт возникает небольшая вибрация якоря, при этом замыкающие контакты могут отскакивать и повторно разрывать коммутируемую цепь. Для устранения этого явления необходимо иметь некоторый провал на контактном мостике.

Основные параметры контактного устройства - раствор, провал и нажатие контактов - не должны выходить за пределы допустимых и в условиях наладки подлежат тщательной проверке.

Регулировка провалов у реле, имеющих мостиковые контакты (рис. 6-7), производится изменением высоты неподвижных контактов, а раствор определяется ходом якоря. Регулировка провалов и раствора контактов реле серий РЭВ-570, РЭВ-880, РЭВ-200 и РЭВ-800 производится путем перемещения неподвижных контактов. Для регулировки провала и растворов контактов реле серии РЭВ-570 допускается изменение положения упорного винта, определяющего положение якоря и воздушный зазор между якорем и сердечником, а также подгибанием нажимной скобы.

Регулировка напряжения (тока) срабатывания и возврата. У всех электромагнитных реле постоянного тока серии РЭВ настройка напряжения срабатывания и возврата осуществляется натяжением пружины или изменением воздушного зазора между якорем и сердечником; при этом максимальное первоначальное натяжение пружины лимитируется тем, что при включенном реле ее витки не должны касаться друг друга, а уменьшение воздушного зазора ограничивается минимальными значениями раствора и провала контактов.

Регулирование коэффициента возврата реле производится изменением толщины немагнитной прокладки. Если необходимо иметь более высокий коэффициент возврата, увеличивают толщину немагнитной прокладки. Тонкая, в небольших пределах регулировка коэффициента возврата может быть выполнена изменением натяжения пружины.

Реле напряжения переменного тока, включенные через добавочные сопротивления, настраиваются натяжением возвратной пружины и зазором якоря. Регулирование напряжения возврата производится только изменением натяжения пружины.

Напряжение втягивания у реле с «залипанием» регулируется изменением раствора якоря, так как в этом случае сохраняется сжатие пружины, а следовательно, и настроенная ранее выдержка времени.

После настройки все реле проверяют в схеме на отсутствие вибрации (гудения) и надежность срабатывания при 80 % номинального напряжения.

Регулировка выдержки времени производится с помощью электрического или электронного секундомера по схемам, приведенным на рис. 6-8. Достаточна точность измерения 0,03-0,05 с. Пределы регулирования выдержки даны в табл. 6-3.

Пределы регулирования выдержки времени реле управления и защиты

Тип	Номинальное напряжение втягивающей катушки, В	Пределы регулирования выдержки времени, с			Примечание
		при отключении катушки	при закорачивании катушки	время заряда	
РЭВ-811 РЭВ-812 РЭВ-813 РЭВ-814 РЭВ-815 РЭВ-816	12, 24, 48, 110, 220	0,25—1	0,4—1,5	0,5	Выдержка времени приведена для холодной катушки при напряжении не ниже $0,63 U_n$
		0,8—2,5	0,9—2,8	0,7	
РЭВ-817 РЭВ-818 РЭВ-881 РЭВ-882 РЭВ-883 РЭВ-884		1,2—2	1,3—2,2	0,9	
		2—3,5	2,2—3,8	0,9	
		4,5—8	5—9	1	
		7—12	8—13	1,5	
		3—6	4—7	1	
		5—9	6—10	1,5	
РЭВ-81		0,15—1	0,3—1,3	0,35	Собственное время втягивания при номинальном напряжении около 0,1 с
РЭМ-211 РЭМ-212 РЭМ-221	24, 55, 110, 220 95—170 175—320	0,3—1,5	—	0,6	—
		0,3—1	—	0,6	
		0,5—3	—	0,8	
РЭМ-222 РЭМ-21 РЭМ-22	24, 55, 110, 220 95—170 175—320	0,5—1,5	—	0,8	Собственное время втягивания при номинальном напряжении при температуре катушки $20 \pm 5^\circ\text{C}$ не более 0,15 с, при рабочей температуре не более 0,2 с
		0,25—1	—	0,8	
		0,8—2,5	—	0,8	

Примечание. Точность времени срабатывания 10 %, при напряжении на катушке не менее  $0,6 U_n$  и температуре  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ .

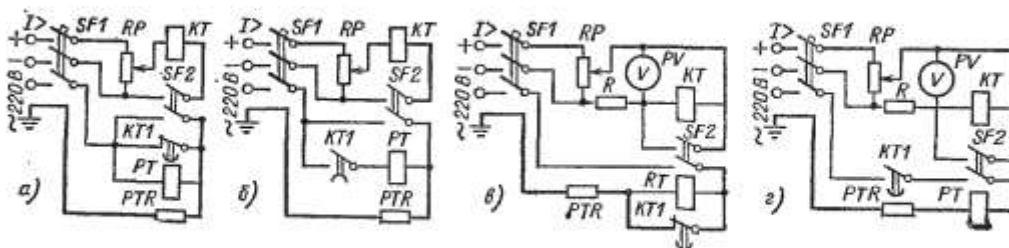


Рис. 6-8. Схемы определения выдержки времени электрическим секундомером.

а — реле с гильзой и размыкающимся контактом; б — реле с гильзой и замыкающимся контактом; в — реле без гильзы с размыкающимся контактом; г — реле без гильзы с замыкающимся контактом; КТ — реле времени; RP — потенциометр; PT — электрический секундомер; PTR — добавочное сопротивление катушки секундомера; R — резистор.

Выдержка времени реле регулируется изменением толщины немагнитной прокладки (грубо) и изменением натяжения пружины (тонко). Самые тонкие стандартные прокладки имеют толщину 0,10-0,15 мм. Прокладки толщиной менее 0,1 мм не применяются, так как при частых включениях реле они могут деформироваться, что ведет к изменению выдержки времени и «залипанию» якоря. «Залипание» может произойти и от чрезмерного ослабления пружины, оттягивающей якорь от сердечника. Для предотвращения «залипания» необходимо возвратную пружину затянуть на полтора-два оборота от того состояния, при котором произошло «залипание».

У реле времени серий РЭВ-80, РЭВ-800 и РЭВ-880 регулировка выдержки времени производится как изменением толщины немагнитной прокладки, так и натяжением отжимной пружины на якоре. Возвратная пружина служит только для обеспечения четкого отпадания якоря и необходимого провала размыкающихся контактов. У реле серий РЭВ-800, РЭВ-880 и др. время «заряда» (задержки) в зависимости от исполнения находится в пределах 0,35-1,5 с, поэтому для получения полной выдержки времени и правильного ее измерения необходимо, чтобы катушка перед срабатыванием (отключением, закорачиванием) была под напряжением (обтекалась током)

за период, больший времени «заряда» или в крайнем случае равный ему.

Выдержка времени электромагнитных реле при отпадании якоря может регулироваться изменением съемных дополнительных демпферов. Чем больше индуктивность катушки (или гильзы) и чем меньше ее омическое сопротивление, а также натяжение пружины, тем больше выдержка времени.

Проверка времени срабатывания производится при напряжении  $0,85 U_H$ . Учитывая, что с нагревом катушки выдержка времени реле уменьшается, регулировать реле при холодной катушке необходимо на несколько большую выдержку времени, чем заданная уставка.

Проверка реле защиты постоянного тока первичным током производится от сети постоянного или переменного тока или от специально выделяемых генераторов в режиме короткого замыкания.

При уставках реле на ток 5-20 А ток срабатывания регулируют с помощью реостатов, включенных последовательно с катушкой согласно рис. 6-9. Для настройки токовых реле до 10 А удобно использовать полупроводниковые выпрямители (схема приведена на рис. 6-10).

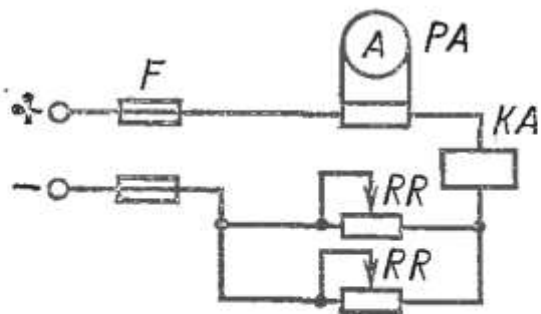


Рис. 6-9. Схема проверки реле постоянного тока с помощью регулировочных реостатов.

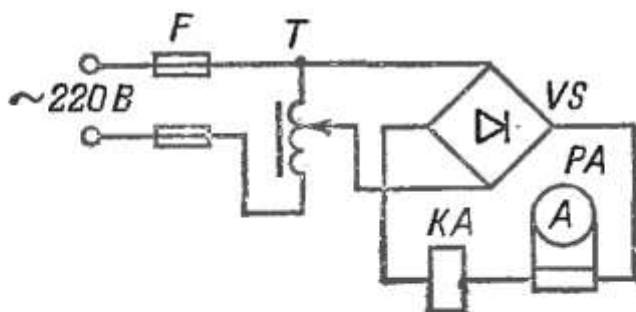


Рис. 6-10. Схема испытания реле постоянного тока при питании от сети переменного тока.

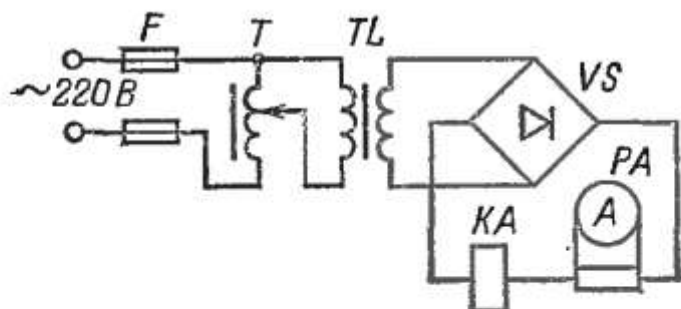


Рис. 6-11. Схема настройки токового реле постоянного тока с помощью нагрузочного трансформатора с выпрямителем.

Реле на большие токи (до 200 А) проверяют, применяя нагрузочный трансформатор с выпрямителями ВК-200 по схеме, показанной на рис. 6-11.

Для испытания токовых реле защиты установок, работающих по схеме Г-Д, в качестве испытательного можно использовать рабочий генератор, схема возбуждения которого изменяется так, чтобы обеспечить плавный подъем тока с нуля. Для этих целей параллельная обмотка генератора включается через потенциометр от независимого источника постоянного тока (рис. 6-12).

Рис. 6-12. Схема испытания реле постоянного тока на большие токи от рабочего генератора.

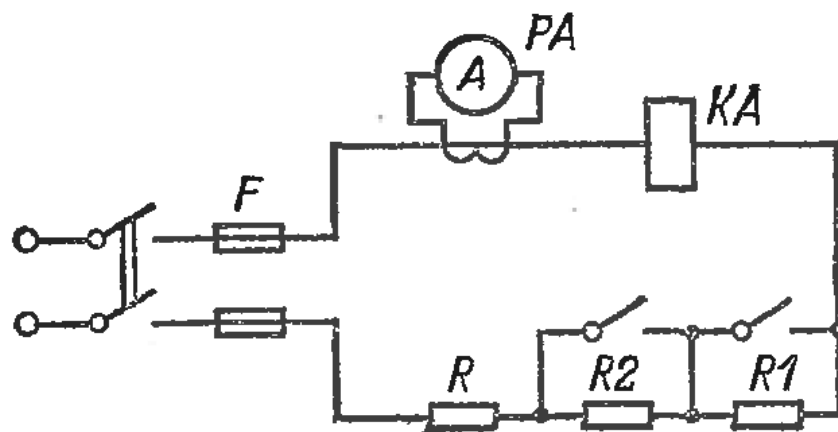
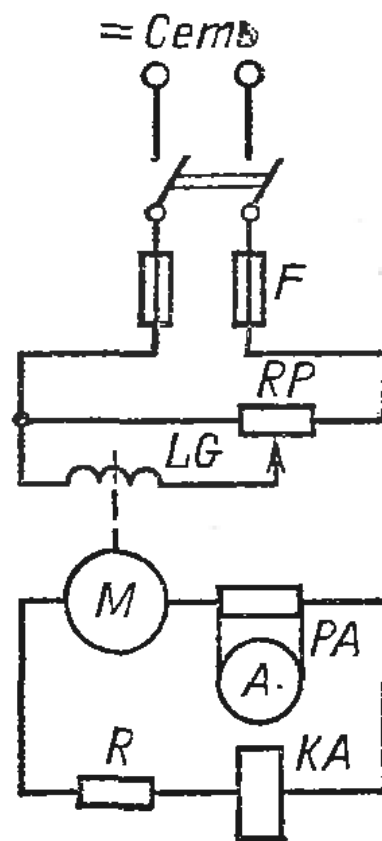


Рис. 6-13. Схема настройки токового реле с помощью резисторов.

Когда отсутствуют регуляторы тока, указанные выше, настройку токовых реле можно выполнить с помощью эталонной катушки, например катушки напряжения, имеющей большое и точно известное количество витков. Эталонная катушка устанавливается вместо токовой, и реле настраивают на новый ток  $I'$  исходя из следующего соотношения:

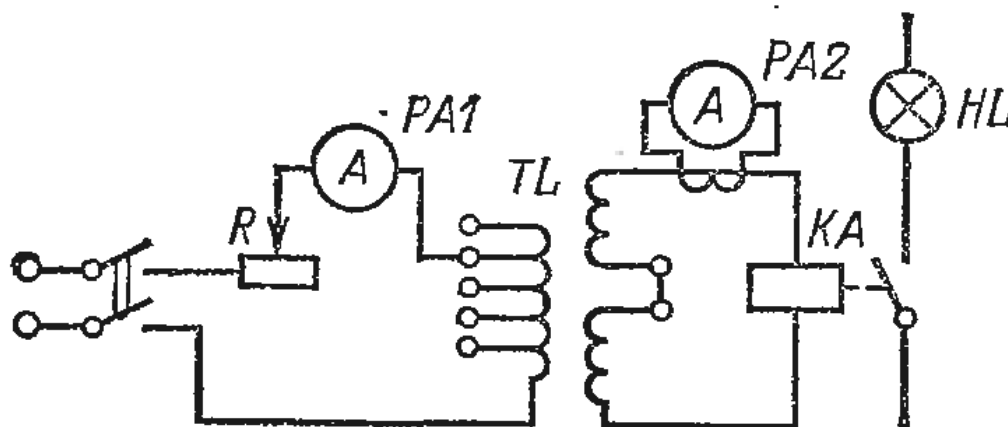
$$I_{уст} = I' \frac{\omega_{э}}{\omega_T},$$

где  $I_{уст}$  - требуемый ток уставки реле;  $\omega_{э}$ ,  $\omega_T$  - соответственно число витков эталонной и токовой катушек.

Проверка реле переменного тока первичным током в зависимости от тока уставки производится от сети, если ток уставки до 100 А, или от постороннего источника переменного тока, если ток уставки более 100 А.

При проверке токовых реле от рабочей сети ток нагрузки создается с помощью резисторов, включенных последовательно с катушкой реле. В качестве токоограничивающих сопротивлений могут быть использованы реостаты или ящики резисторов. Регулирование тока в схеме осуществляется шунтированием части резисторов (рис. 6-13).

Для проверки максимальных защит на большие токи (сотни и тысячи ампер) применяют нагрузочные трансформаторы. Трансформатор типа НТ-10, изготовляемый ВНИИПЭМ, позволяет получить нагрузочный ток до 10 000 А. Грубая регулировка тока осуществляется изменением коэффициента трансформации, тонкая (плавная) - с помощью регулировочных устройств (рис. 6-14). Вместо специального нагрузочного можно использовать котельные или сварочные трансформаторы.



**Рис. 6-14. Схема проверки максимальной защиты с помощью нагрузочного трансформатора.**

Настройка максимальных реле производится в следующем порядке. Ток нагрузки с помощью регулировочного устройства (реостата, ЛАТР) поднимается до тока уставки. При подгонке тока нагрузки к току уставки испытательная схема кратковременно отключается для остывания испытуемого реле, нагрузочных и регулировочных устройств и включается снова. Нагрузочный ток устанавливается равным току уставки и изменением натяжения пружины или положения упора якоря реле доводится до срабатывания. После окончания настройки реле на шкале отмечается риска, указывающая уставку, а положение затягивающей гайки фиксируется шплинтом.

## **НАЛАДКА АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

При наладке коммутационной аппаратуры напряжением до 1кВ обращают внимание главным образом на состояние механической части и четкость ее работы. При механической ревизии, коммутационной аппаратуры проверяются силовые и вспомогательные контакты, состояние их, регулировка и соответствие диаграммы работы вспомогательных контактов в схеме управления и автоматики по проекту; при необходимости вспомогательные кон такты заменяются или переделываются на месте.

Серьезное внимание при ревизии обращается на чистоту контактов, надежность вжимов. При включении от руки (нажатием на якорь) электромагнита контактора без защелки якорь должен плотно прижиматься к магнитопроводу электромагнита включения. Подвижная система должна перемещаться, не зацепляясь о гасительные камеры, встречая противодействие только пружин.

Вжимы (провал) вспомогательных контактов должны быть не менее 1-2 мм, а замыкание всех полюсов силовых контактов должно быть одновременным. При отпускании подвижная часть должна быстро, без заеданий отпасть. При необходимости производится соответствующее регулирование.

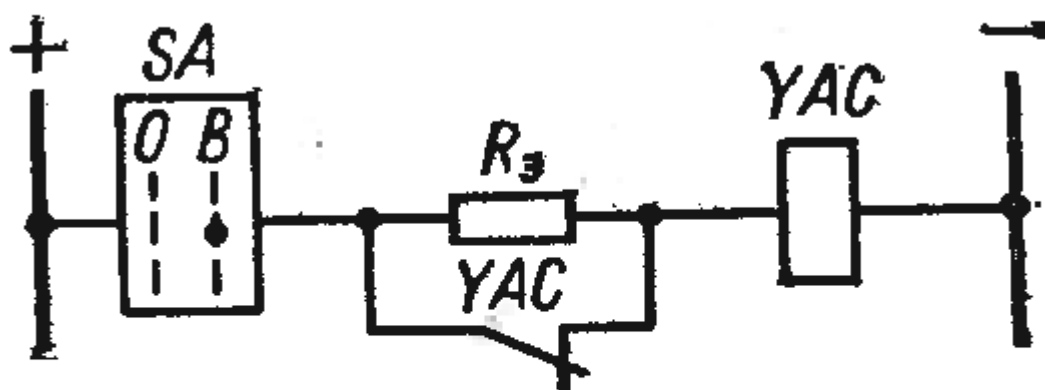
Автоматические выключатели должны надежно фиксироваться во включенном положении. При ударе якоря электромагнита отключения или при срабатывании электромагнитного или теплового реле автоматический выключатель должен отключиться.

Для дистанционного управления различными устройствами часто применяются магнитные пускатели, но они не могут отключать большие токи КЗ, которые имеют место на электростанциях и подстанциях. Поэтому для защиты цепей последовательно с магнитными пускателями устанавливают предохранители и автоматические выключатели. Если при этом предохранители или автоматические выключатели рассчитываются для защиты от перегрузок, то тепловые реле магнитных пускателей не используются и вместо нагревательных элементов следует установить перемычку из проволоки или металлические пластинки.

Кроме ревизии и необходимых регулировок у коммутационной аппаратуры проверяется также схема внутренних соединений, исправность обмоток электромагнитов и резисторов, измеряется сопротивление изоляции силовых и вспомогательных цепей. Согласно Нормам для первичных цепей напряжением до 1 кВ сопротивление их изоляции должно быть не менее 0,5 МОм. Практически сопротивление изоляции контакторов, пускателей и автоматических выключателей, установленных в сухих помещениях, не бывает менее 5 МОм, из чего обычно и исходят при решении вопроса о сухке изоляции.

У электромагнитов включения и отключения проверяется напряжение срабатывания по схеме на рис. 10.4, а или 10.8.

В контакторах без защелки в цепи электромагнитов включения постоянного тока часто ставятся экономические резисторы  $R_3$  (рис. 10,14). Сопротивление резистора  $R_3$  в 10-20 раз больше сопротивления электромагнита включения  $YAC$ .



**Рис. 10.14. Включение контактора без защелки**

Если вспомогательный контакт  $YAC$  разомкнется в конце движения якоря электромагнита включения и якорь хорошо будет прилегать к электромагниту, то даже уменьшенный в 10-20 разток в обмотке электромагнита обеспечит надежное удержание якоря. Таким образом, резистор  $R_3$  позволяет экономить электроэнергию и допускает уменьшать сечение обмоточных проводов электромагнитов включения.



В таких схемах проверяется напряжение срабатывания и возврата контактора совместно с резистором  $R_3$  и подсчитывается коэффициент возврата  $k_B$ :

$$k_B = U_B / U_{cp} \quad (10.1)$$

Если коэффициент возврата более 0,8, то следует уменьшить сопротивление  $R_3$ , так как при большом коэффициенте возврата контактор удерживается недостаточно надежно и при понижении напряжения в сети он может отпасть.

Напряжение срабатывания электромагнитов включения переменного тока должно составлять примерно 85%  $U_{ном}$ , а напряжение возврата - не ниже 50-60%  $U_{ном}$ . Более низкое напряжение срабатывания контакторов или пускателей, установленных в цепях электродвигателей, может поставить в тяжелые условия их пуск, а при снижении напряжения у работающего электродвигателя последний перегрузится током.

На рис. 10.15 показана схема управления электродвигателем с трех мест (SBC1, SBC2 и SBC3), а на рис. 10.16 даны схемы для проверки токов срабатывания на переменном токе для тепловых реле KST и автоматических выключателей SF.

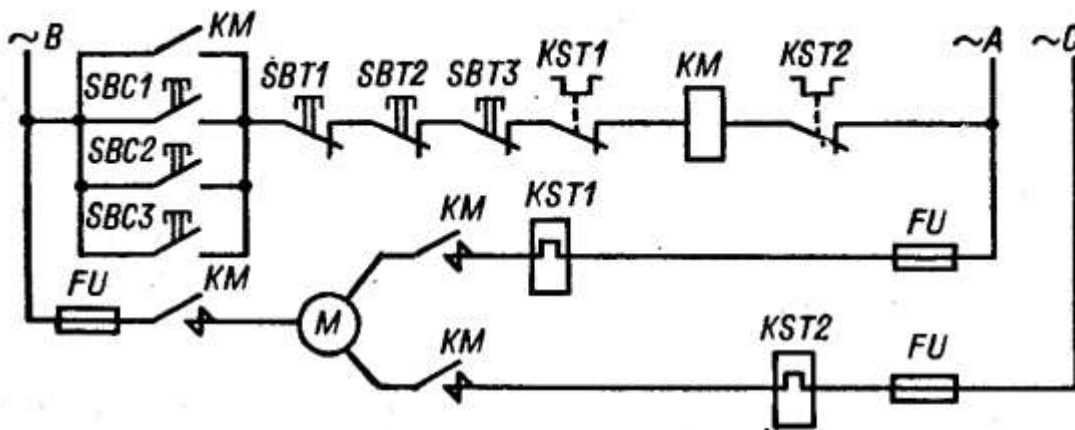


Рис. 10.15. Схема управления магнитным пускателем:

$KM$  — магнитный пускатель;  $KST1, KST2$  — тепловые реле;  $FU$  — предохранители;  $M$  — электродвигатель;  $SBT1-SBT3$  — кнопки останова;  $SBC1-SBC3$  — кнопки пуска

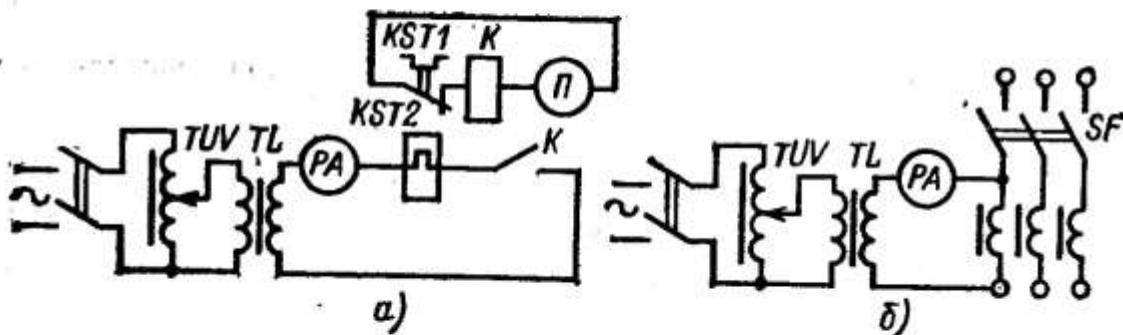


Рис. 10.16. Схема измерения токов срабатывания устройств защиты:

$a$  — теплового реле контактора пускателя;  $б$  — электромагнитного или теплового распределителя автоматического выключателя;  $TUV, TL$  — трансформаторы регулировочный и нагрузочный;  $\Pi$  — «пробник»

Ток срабатывания максимального расцепителя автоматического выключателя не должен отличаться более чем на 10-13% от указанного на автоматическом выключателе или паспорте (для различных типов автоматических выключателей). У тепловых реле проверяется время срабатывания на одной или двух точках в пределах (3-6)  $I_{ном}$ . Время срабатывания проверяется механическим секундомером после прогрева автоматического выключателя SF номинальным током при температуре окружающей среды 20-45 °С. После каждого измерения следует охладить автоматический выключатель в течение 2-3 мин. Время срабатывания должно укладываться в пределы, предусмотренные типовыми характеристиками для данного реле или автоматического выключателя (см. рис. 10.17).

Характеристики срабатывания тепловых реле KST изменяются ступенчато сменой нагревательных элементов, которые маркируются по номерам, и плавно - изменением зазора между биметаллической пластиной и приводом расцепителя. У некоторых автоматических выключателей, например типа АП-50, также можно плавно изменять зазор.

Время срабатывания максимальных расцепителей обычно проверять не требуется, а ток срабатывания у автоматических выключателей можно регулировать натяжением противодействующей пружины или увеличением зазора у теплового элемента (биметаллической пластины).

При выборе предохранителей или автоматических выключателей (аппаратов) для защиты электрических цепей руководствуются следующими соображениями.

Номинальное напряжение аппарата защиты (плавкой вставки, автоматического выключателя) должно удовлетворяться условию:

$$U_{ап, ном} \geq U_c. \quad (10.2)$$

*Предельно отключаемый ток аппарата защиты:*

$$I_{ап, пр} > I_{к, max}. \quad (10.3)$$

*Номинальный ток плавкой вставки или теплового расцепителя выбирается по:*

$$I_{ап, ном} = k_n I_{нагр, max}; \quad (10.4)$$

$$I_{ап, ном} < I_{доп, пр}; \quad (10.5)$$

$$I_{ап, ном} \leq I_k / 20; \quad (10.6)$$

$$\frac{I_n}{10} \geq I_{ап, ном} > \frac{I_k}{20}. \quad (10.7)$$

Для предохранителей, установленных последовательно с магнитными пускателями, применяется условие (10.6), а если выведено из работы тепловое реле магнитного пускателя, - то (10.7).

Для трехфазных сетей применяется условие (10.8), а для электромагнитных расцепителей и автоматических выключателей - (10.9); здесь делитель 1,25 для токов более 100 А, а 1,4 - для токов до 100 А:

$$I_{ап, ном} \leq \frac{I_{н, 0}}{3}; \quad (10.8)$$

$$I_{ап, м, р} \leq \frac{I_{к, 0}}{1,25 \div 1,4}. \quad (10.9)$$

В формулах (10.2)-(10.9)  $U_c$ - номинальное напряжение защищаемой сети;  $U_{\text{ап,ном}}, I_{\text{ап,ном}}$ - номинальные напряжение и ток аппарата;  $I_{\text{ап,пр}}$ - предельно допустимый ток аппарата;  $I_{\text{нагр,мах}}$ - максимальная токовая нагрузка;  $I_{\text{доп.пр}}$ -максимально допустимый ток проводов защищаемой сети;  $I_{\text{к.о}}$ -наименьший ток однофазного КЗ;  $I_{\text{ап.м.р}}$ - ток срабатывания максимального расцепителя.

В формуле (10.4) коэффициент надежности принимается равным 1,1-1,2 для предохранителей в цепях с постоянной нагрузкой, 2-2,5 для предохранителей, рассчитанных для цепей с самозапуском электродвигателей, 1,2- 1,3 для тепловых реле магнитных пускателей, 1,0-1,1 для автоматических выключателей, имеющих стабильные характеристики, 0,3-0,35 для предохранителей защиты электромагнитов включения выключателей, имеющих электромагнитные привода, и 0,12-0,20 когда для защиты последних устанавливаются автоматические выключатели.

Для аккумуляторных батарей применяется только тепловая защита. Для аккумуляторов типа С плавкая вставка или уставка теплового элемента расцепителя выбирается на 2,5-кратный ток 3-часового режима разряда:

$$I_{\text{ап,ном,С}} \geq 2,5 \cdot 9N_{\text{б}} = 22,5N_{\text{б}}, \quad (10.10)$$

а для батарей типа СК - из расчета 2-кратного тока 1-часового режима разряда:

$$I_{\text{ап,номСК}} \geq 2 \cdot 18,5N_{\text{б}} = 37N_{\text{б}}, \quad (10.11)$$

где  $N_{\text{б}}$  - номер элементов батарей С или СК. Электромагнитный расцепитель (мгновенный) автоматического выключателя при этом должен быть в работе.

Для защиты линий, отходящих от щитов постоянного тока, также используется тепловая защита, которая должна удовлетворять условию (10.7).

В цепях измерительных приборов ТН устанавливаются предохранители с вставками на 6-10 А или автоматы на 2,5 А. В цепях ТН, питающих релейные защиты, устанавливаются автоматы с тепловыми и максимальными расцепителями и с вспомогательными контактами для сигнализации о срабатывании автоматических выключателей.

При выборе уставок защит помимо названных выше условий следует учитывать селективность. Поскольку максимальные расцепители, не имеющие выдержек времени, не обеспечивают селективности, их можно устанавливать лишь непосредственно на линиях, питающих потребителей (на рис. 10.18 аппараты SF).

На рис. 10.17 показаны защитные характеристики комбинированных расцепителей автоматических выключателей серии А3100. Из рис. 10.17 видно, что все указанные автоматические выключатели не обеспечивают селективности при больших токах, которые обычно бывают при КЗ; Селективность может быть обеспечена лишь при токах перегрузки либо когда ток КЗ на удаленном участке, например за аппаратами SF3 - SF5 сборки II или III, существенно меньше, чем за аппаратами SF1, FU1, FU2 соответствующих линий (рис. 10.18).

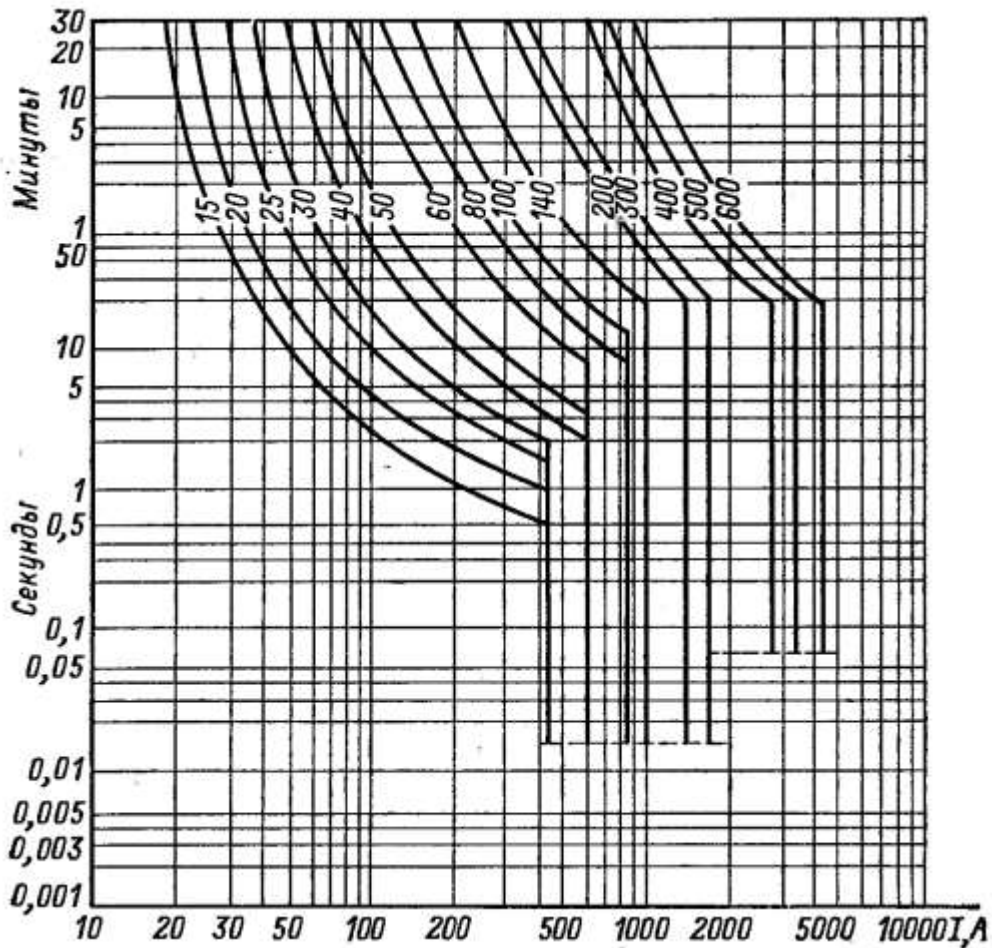


Рис. 10.17. Характеристики срабатывания автоматических выключателей серии АЗ100

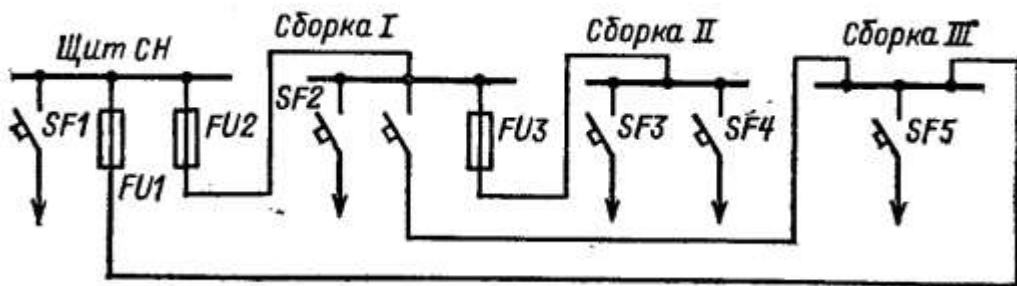


Рис. 10.18. Схема размещения зашит в сети 380/220 В собственных нужд

Пользуясь характеристиками срабатывания автоматических выключателей и предохранителей и зная токи КЗ в различных точках электрической сети, можно правильно выбрать номинальные токи аппарата защиты.

Автоматические выключатели в цепях питания шинок управления ЕС, сигнализация питания ЕН и ЕУ не должны иметь мгновенных электромагнитных расцепителей и должны снабжаться вспомогательными контактами для сигнализации срабатывания.

## МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ СХЕМ СОЕДИНЕНИЙ. ОПРОБОВАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.

Основной частью электрических машин, силовых и измерительных трансформаторов являются обмотки, имеющие между собой непосредственное электрическое соединение или соединение с помощью дополнительных элементов (например, переключателя в силовых трансформаторах).

Важной частью приводов выключателей, автоматических выключателей или другой коммутационной аппаратуры также являются элементы, имеющие между собой электрическое соединение (обмотки, вспомогательные контакты и пр.). Перечисленные электрические соединения внутри аппаратов (внутренние схемы электрических соединений), как и любые другие, требуют проверки правильности их выполнения.

Все оборудование электростанций или подстанций соединяется электрически с помощью шин, кабелей и проводов в единую схему соединений (внешние схемы электрических соединений). Наряду с проверкой схем внутренних соединений производится также проверка схем внешних электрических соединений всего основного электрооборудования в соответствии с проектом. При этой проверке особое внимание обращается на соблюдение необходимого чередования фаз(последовательности) и таких соединений одноименных фаз различного оборудования, при которых возможны и допустимы параллельная работа силовых трансформаторов, работа генераторов, электродвигателей отдельных механизмов в общей электрической схеме станции или подстанции и связь их с энергосистемой. Ошибки в соответствии и чередовании фаз приводят при включении оборудования в работу к серьезным авариям и выходу его из строя.

К проверке внешних схем электрических соединений относится также проверка соответствия размещения оборудования (электродвигателей, выключателей, щитов или панелей, шкафов управления ими и т.п.) схеме заполнения, являющейся неотъемлемой частью проекта. Такая схема предусматривает определенное расположение всего электрооборудования в отдельных помещениях электростанции или подстанции и аппаратуры их вторичных устройств.

Электрические схемы соединений внутри аппарата и внешние (между аппаратами) проверяются проще всего визуально, прослеживанием. Но это не всегда возможно. Тогда прибегают к помощи различной вспомогательной аппаратуры (пробников, мегаомметров, телефонных трубок), используемой отдельно или в сочетаниях.

Схема внутренних соединений косвенно проверяется при определении полярности обмоток, группы соединений трансформаторов, при проверке маркировки и согласования полярности обмоток машин постоянного тока.

Опробование электрооборудования в действии производится после полного окончания монтажа и предпусковых наладочных работ. При опробовании производятся проверки, испытания и измерения, которые не могут быть сделаны в неподвижном состоянии оборудования и обеспечивают полную его подготовленность к нормальной работе в условиях эксплуатации. Методы опробования зависят от вида оборудования. Выключатели, разъединители, короткозамыкатели, отделители, контакторы и другие виды коммутационных аппаратов опробуются при полной готовности монтажа оборудования и его вторичных устройств подачей оперативного напряжения или воздуха (для выключателей или разъединителей с воздушным приводом). При этом опробовании производятся измерение времени и скорости включения и отключения, минимального напряжения срабатывания электромагнитов привода, одновременности замыкания и размыкания контактов у масляных выключателей, проверка работы приводов при различных уровнях напряжения оперативного тока или давления воздуха, осциллографирование различных циклов включения и отключения, по которым судят о нормальной регулировке и работе отдельных узлов воздушных выключателей.

Силовые трансформаторы опробуются подачей на них напряжения, при этом проверяются работа трансформатора на слух, действие релейных защит, работа переключателя ответвлений. Опробование крупных трансформаторов производится по специальной программе, подготавливаемой наладочным или эксплуатационным персоналом и утверждаемой руководством электростанции или управления сетей.

Опробование синхронных генераторов и систем их возбуждения производится обычно непосредственно перед включением генераторов в работу по специальной программе комплексных испытаний, утверждаемой руководством станции. При этом производятся проверки защитных устройств, устройств синхронизации, системы возбуждения, снятие характеристик генератора и возбудителя.

Электродвигатели опробуются подачей напряжения сначала при расцепленной муфте, соединяющей их с приводным механизмом, а затем и совместно с приводимым механизмом. Измеряемые при этом токи и наблюдение за работой электродвигателей позволяют судить о качестве монтажа и подготовленности электродвигателей к нормальной работе.

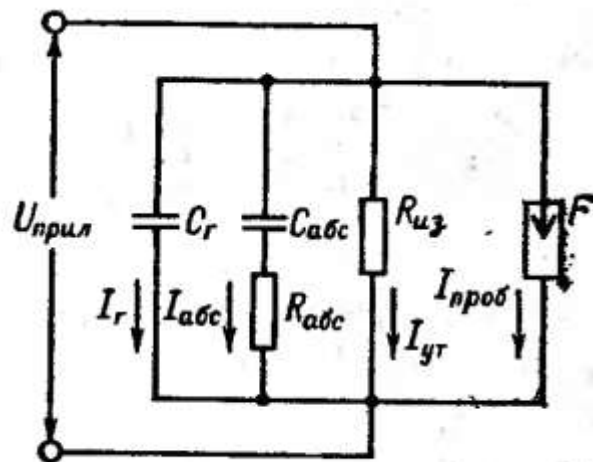
По результатам опробования электрооборудования делается окончательная оценка пригодности его к эксплуатации; чаще всего после успешного опробования оборудование остается в работе (генераторы, силовые трансформаторы).

## ПРОВЕРКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Методы испытаний, проверок и измерений, определяющих состояние изоляции токоведущих частей электрооборудования, вытекают из физической сущности изоляции. Любая изоляция (диэлектрик), применяемая в электрических машинах и аппаратах, по существу, является конденсатором со сложной средой. Обкладками его являются наружные элементы конструкции аппарата (корпус, сердечник) и токоведущие части (жилы кабеля, провода, шины), среда-изоляционный материал, структура которого определяется не только используемым материалом (в машинах - слюда, в аппаратах - слюда, волокно, бумага, маслобарьерная изоляция), но и состоянием ее-наличием дефектов, в частности увлажнением. Физические процессы в изоляции при приложении к ней напряжения аналогичны тем, которые имеют место в электрическом конденсаторе. Для удобства рассмотрения этих процессов принято изображать изоляцию в виде схемы замещения, представленной на рис. 1.2. Многолетний опыт проверки состояния изоляции с помощью различных измерений, среди которых главное место занимает измерение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции с помощью мегаомметра, подтверждает правильность такого представления изоляции в электрических аппаратах и машинах.

**Рис. 1.2. Схема замещения изоляции электрооборудования:**

$C_r, I_r$  — геометрическая емкость и ток ее заряда;  $C_{abc}, I_{abc}$  — абсорбционная емкость и ток ее заряда;  $R_{из}, I_{ут}$  — сопротивление изоляции постоянному току и ток утечки, им определяемый;  $I_{проб}$  — ток в изоляции при пробое ее;  $U_{прил}$  — напряжение, приложенное к изоляции при измерениях и испытаниях;  $F$  — разрядник, условно изображающий пробой в изоляции;  $R_{abc}$  — сопротивление абсорбции



При приложении выпрямленного напряжения в схеме замещения (рис. 1.2) в первый момент времени проходит только ток  $I_r$  заряда геометрической емкости  $C_r$ , т.е. емкости, определяемой геометрическими размерами изоляции. В этот момент реальная среда - материал изоляции не проявляется, как будто между границами ее (обкладками конденсатора  $C_r$ ) вакуум.



Этот ток быстро прекращается, а положительные и отрицательные заряды, накопившиеся на границах изоляции за этот период времени, создают в ее толще электрическое поле, под действием которого после прекращения прохождения тока  $I_r$  возникает явление поляризации, характерное уже для реального изоляционного материала со сложной структурой. Это явление связано с прохождением тока  $I_{абс}$  в период времени после заряда геометрической емкости.

Ток поляризации определяется медленным поворотом под влиянием электрического поля диполей (рис. 1.3), характерных для изоляции, а также зарядом отдельных конденсаторов  $C_{абс}$ , образующихся между слоями. Значение его зависит от дефектов и неоднородности изоляции и сопротивления  $R_{абс}$  отдельных участков, представляющих собой чисто активное сопротивление.

Отдельные емкости, с которыми связано явление поляризации, называются абсорбционными емкостями, а сопротивления, их связывающие, - абсорбционными сопротивлениями.

Для рассмотрения влияния поляризации на изменение тока в толще изоляции при приложении к нему выпрямленного напряжения вполне достаточно представить сложные цепочки схемы замещения в виде одной общей абсорбционной емкости  $C_{абс}$  общего сопротивления  $R_{абс}$ , как это показано на рис. 1.2.

Известно, что процесс ориентировки диполей в электрическом поле происходит медленно и требует затрат энергии. В результате ток заряда конденсатора по сравнению с тем, как это было бы в вакууме, изменяется во времени так же медленно и значительно увеличивается.

Известно также, что постоянная времени цепочек из  $R$  и  $C$  равна  $T=RC$ , т. е. чем больше  $R$ , тем больше и время заряда  $T$ . Это объясняет, кстати, почему заряд абсорбционной емкости происходит медленно.

Увлажненность изоляции влияет в первую очередь на значение  $R_{абс}$ . Чем больше увлажненность, тем меньше  $R_{абс}$  и в этом случае ток поляризации увеличивается, затухание его происходит быстрее. Это свойство используется в методе определения состояния изоляции с помощью мега-омметра, который объединяет в себе источник выпрямленного напряжения, прикладываемого при измерениях к изоляции, и прибора, измеряющего ток.

В общем случае, чем больше  $R_{абс}$ , что имеет место при сухой изоляции, тем меньше ток заряда абсорбционной емкости (ток абсорбции) и тем больше время заряда. Чем меньше  $R_{абс}$  (у влажной изоляции), тем больше ток абсорбции и тем меньше время заряда. Это видно из выражения

$$I_{зар} = \frac{U}{R_{абс}} e^{-t/\tau},$$

где  $I_{зар}$  - ток заряда абсорбционной емкости;  $U$  - приложенное напряжение;  $t$  - время приложенного напряжения;  $\tau=R_{абс}C_{абс}$  - постоянная времени;  $e$  - основание натуральных логарифмов, равное 2,71828.

После прекращения процесса поляризации, т. е. заряда абсорбционной емкости, ток  $I_{абс}$  становится равным нулю, но через изоляцию продолжает проходить ток сквозной проводимости (ток утечки), определяемый общим сопротивлением постоянному току изоляции, условно изображенным на рис. 1.2 в виде сопротивления  $R_{из}$ . Сопротивление  $R_{из}$  также зависит от состояния изоляции. У загрязненной или увлажненной изоляции оно значительно меньше, чем у чистой или неувлажненной, что влияет на значение тока утечки. Кривые изменения токов в сухой и увлажненной изоляции с учетом явления поляризации представлены на рис. 1.4. При приложении к изоляции напряжения, превышающего электрическую прочность, происходит пробой ее в наиболее слабом месте, сопровождающийся выгоранием и разрушением поврежденного участка. Разрядник на схеме рис. 1.2 условно изображает такой пробой в изоляции.

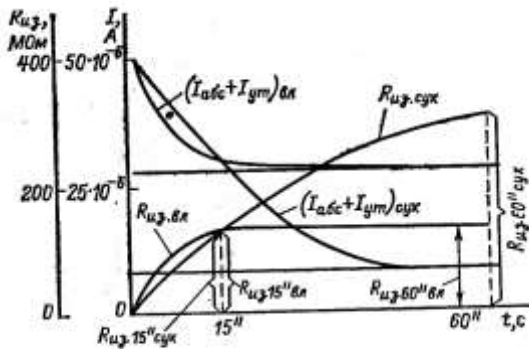


Рис. 1.4. Кривые изменения по времени токов и  $R_{из}$  сухой и влажной изоляции при приложении к ней выпрямленного напряжения

Сопротивление изоляции постоянному току  $R_{из}$  является основным показателем состояния изоляции. Наличие грубых внутренних и внешних дефектов (повреждение, увлажненность, поверхностное загрязнение), как уже говорилось, снижает сопротивление. Определение  $R_{из}$  Ом, производится измерением тока утечки  $I_{ут}$ , проходящего через изоляцию, при приложении к ней выпрямленного напряжения.

В связи с явлением поляризации, имеющим место в изоляции, определяемое сопротивление  $R_{из}$  зависит от времени с момента приложения напряжения. Правильный результат может дать измерение тока утечки по истечении 60 с после приложения, т. е. в момент, к которому ток абсорбции в изоляции в основном затухает. Определение  $R_{из}$  производится с помощью мегаомметров, отградуированных непосредственно в значениях сопротивления постоянному току.

Коэффициент абсорбции  $K_{абс}$  лучше всего определяет увлажнение изоляции. Коэффициент абсорбции - отношение  $R_{из}$ , измеренного мегаомметром через 60 с с момента приложения напряжения, к  $R_{из}$ , измеренному через 15 с:

$$K_{абс} = R_{60} / R_{15}$$

Если изоляция сухая, то коэффициент абсорбции значительно превышает единицу, у влажной изоляции коэффициент абсорбции близок к единице. Объясняется это временем заряда абсорбционной емкости у сухой и влажной изоляции. В первом случае (сухая изоляция) время велико, ток заряда изменяется медленно, значения  $R_{из}$ , соответствующие 15 и 60 с после начала измерения, сильно различаются. Во втором случае (влажная изоляция), время мало, ток заряда изменяется быстро и уже к 15 с после начала измерения достигает установившегося значения, поэтому  $R_{из}$ , соответствующие 15 и 60 с после начала измерения, почти не различаются.

Коэффициент абсорбции является вторым основным показателем состояния изоляции машин и трансформаторов. На рис. 1.5 представлены кривые изменения  $R_{из}$  во времени для увлажненной и сухой изоляции.

Сопротивление изоляции  $R_{из}$ , а также коэффициент абсорбции  $K_{абс}$  сильно зависят от температуры. Поэтому для сравнения следует пользоваться их значениями, измеренными при одной температуре. Влияние температуры подчиняется закону

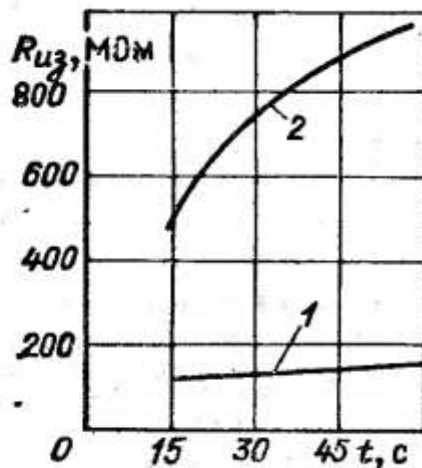
$$R_{t_2} = R_{t_1} \cdot 10^{-(t_2 - t_1) / \alpha}$$

где  $R_{t_1}$ ,  $R_{t_2}$  - сопротивления изоляции постоянному току при температурах  $t_1$  и  $t_2$ ;  $\alpha$  - коэффициент, зависящий от типа изоляции: для изоляции класса А - 40, для изоляции класса В - 60.



Рис. 1.5. Кривые изменения сопротивления изоляции  $R_{из}$  во времени для силового трансформатора:

1 — влажного ( $\frac{R_{из}}{R_{из}} \approx 1,1$ ); 2 — высушенного ( $\frac{R_{из}}{R_{из}} \approx 1,7$ )



Сопротивление изоляции класса А при понижении температуры на каждые 10 °С увеличивается в 1,5 раза и наоборот. На основе этого закона составлена таблица, по которой производится приведение измеренных  $R_{из}$  к одной температуре:

Разность температур $t_2 - t_1$	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
Коэффициент изменения $R_{60}$	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4

Сопротивление изоляции класса В при повышении температуры на каждые 18° снижается примерно в 2 раза. Из этого закона исходят при приведении значений  $R_{из}$  к одной температуре для изоляции класса В.

Сопротивление изоляции постоянному току и коэффициент абсорбции не измеряются при температуре менее +10°С, так как в этом случае результаты измерения из-за нестабильного поведения влаги не отражают истинного состояния изоляции. При температуре ниже 0°С вода превращается в лед, и последний является идеальным диэлектриком. По этой причине сопротивление изоляции  $R_{из}$ , измеренное при такой температуре, не выявляет увлажненности и других дефектов. Так как измерения при температурах, близких к нулю, также могут вызвать сомнения, наиболее устойчивые результаты можно получить лишь при температурах, превышающих +10 °С.

Метод «емкость - время». Оценка состояния волокнистой изоляции класса А в настоящее время производится дополнительно методом «емкость - время». При этом методе производится заряд емкости изоляции, а затем разряды быстрый (закорачиванием сразу после окончания заряда) и медленный (закорачиванием через 1 с после окончания заряда). В первом случае определяется емкость С, во втором случае - прирост емкости за счет абсорбционной емкости, которая успевает проявиться за 1 с у влажного трансформатора, но не успевает проявиться у сухого. У сухого трансформатора  $\Delta C_{сух}$  незначительна [(0,02- 0,08) С при  $t=10^\circ\text{C}$ ], у влажного (также при  $t=10^\circ\text{C}$ )

$$\Delta C_{вл} \gg 0,1С.$$

Для других значений температур максимально допустимые величины  $\Delta C_{сух} / C$  приведены ниже:

Температура, при которой производится измерение, °С	10	20	30	40	50
$\Delta C / C, \%$	8	12	18	29	44

Емкостные методы позволяют оценивать состояние волокнистой изоляции потому, что для этой изоляции характерна зависимость явления поляризации от увлажненности. У многослойной изоляции класса В явление поляризации значительно и у сухой изоляции, из-за чего емкостные методы в этом случае неэффективны.

Емкостно-частотный метод. Для оценки состояния волокнистой изоляции класса А, и используемой в силовых трансформаторах напряжением 35 кВ и ниже, может применяться метод частотной зависимости емкости (емкостно-частотный). Как уже известно, ток заряда геометрической емкости изменяется как у сухой, так и у влажной изоляции очень быстро (в пределах первого полупериода частоты 50 Гц, т.е. 0,01 с). Известно также, что емкость влажной изоляции в отличие от емкости сухой изоляции содержит более значительную абсорбционную емкость, ток заряда которой изменяется медленнее, чем ток заряда геометрической емкости. Это свойство и используется в методе частотной зависимости емкости, при которой измеряется емкость изоляции на частотах 2 и 50 Гц. При измерении емкости изоляции на частоте 50 Гц ( $C_{50}$ ) успевает проявиться только геометрическая емкость, одинаковая у сухой и влажной изоляции. При измерении емкости изоляции на частоте 2 Гц ( $C_2$ ) успевает проявиться абсорбционная емкость влажной изоляции, так как у сухой изоляции она меньше и заряжается очень медленно. У сухой изоляции отношение  $C_2/C_{50}$  в связи с этим близко к единице, а у влажной значительно больше единицы. (Измерения  $C_2/C_{50}$  производят приборами ПКВ-8.)

Метод измерения токов утечки. В качестве дополнительного метода оценки состояния изоляции класса В в настоящее время применяется измерение токов утечки при приложении к изоляции выпрямленного напряжения различного значения, т. е. снятие характеристики

где  $I_{ут}$  - ток утечки;  $U_{выпр}$  - прикладываемое к изоляции напряжение.

Известно, что у машин, имеющих увлажненную изоляцию, зависимость токов утечки от приложенного выпрямленного напряжения нелинейна (рис. 1.6). Нелинейность тем больше, чем больше прикладываемое напряжение. Нелинейность у влажной изоляции связана с явлением ионизации, наступающим при определенном напряжении и резким увеличением в связи с этим тока утечки. Критерием увлажненности благодаря этому может служить коэффициент нелинейности  $K_{нелин}$ , который директивными нормами определяется как отношение сопротивления изоляции постоянному току  $R_{из}$  при значении тока утечки, соответствующем минимальному испытательному напряжению ( $U_{исп} = 0,5 U_{ном}$ ), к  $R_{из}$  при значении тока утечки, соответствующем  $U_{исп} = U_{max}$ .

Коэффициент нелинейности изоляции, состояние которой можно считать удовлетворительным, не превышает 3.

Метод измерения тангенса угла диэлектрических потерь. Распространенным методом определения состояния изоляции оборудования является измерение тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg} \delta$ . Как известно,  $\text{tg} \delta$  есть отношение активной составляющей тока  $I_a$ , проходящего через изоляцию при приложении к ней переменного напряжения, к реактивной  $I_c$  (рис. 1.7). Активная составляющая обусловлена активными потерями на нагрев и ионизацию, реактивная составляющая - зарядкой и разрядкой конденсатора в каждый период приложенного переменного напряжения. Активный ток мог бы являться показателем состояния изоляции, так как все внутренние дефекты изоляции и ее увлажненность увеличивают этот ток. Однако значение его зависит также от размеров оборудования. Поэтому для оценки состояния изоляции используется отношение составляющих тока

$$\text{tg} \delta = I_a / I_c .$$

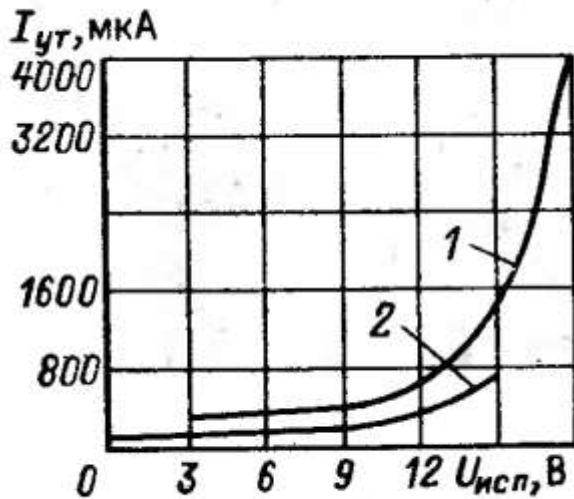


Рис. 1.6

Рис. 1.6. Зависимость токов утечки  $I_{ут}$  для электродвигателя 6 кВ от приложенного напряжения:

1 — увлажненной обмотки; 2 — обмотки с удовлетворительной изоляцией

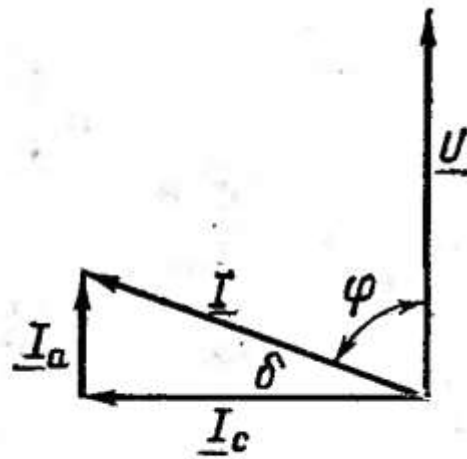


Рис. 1.7

Рис. 1.7. Диаграмма токов при приложении к изоляции переменного напряжения

При любых размерах оборудования и удовлетворительном состоянии изоляции отношение это будет одинаковым и будет изменяться лишь при относительно большем изменении активной составляющей по сравнению с реактивной, что имеет место при наличии дефектов или увлажненности.

Тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  зависит от температуры и значения прикладываемого напряжения. Зависимость  $\text{tg}\delta$  от напряжения видна из кривых на рис. 1.8, а от температуры - на рис. 1.9. Зависимость  $\text{tg}\delta$  от температуры объясняется тем, что с увеличением температуры уменьшается сопротивление изоляции и соответственно увеличивается активная составляющая тока  $I_a$ , определяющая потери.

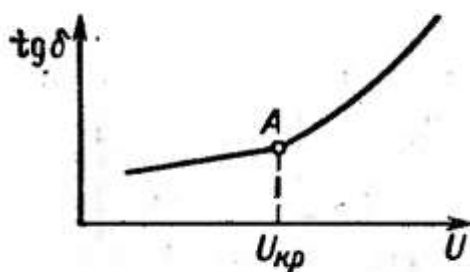


Рис. 1.8

Рис. 1.8. Зависимость  $\text{tg}\delta$  изоляции от приложенного напряжения:

A — точка начала ионизации;  $U_{кр}$  — критическое напряжение, при котором начинается ионизация

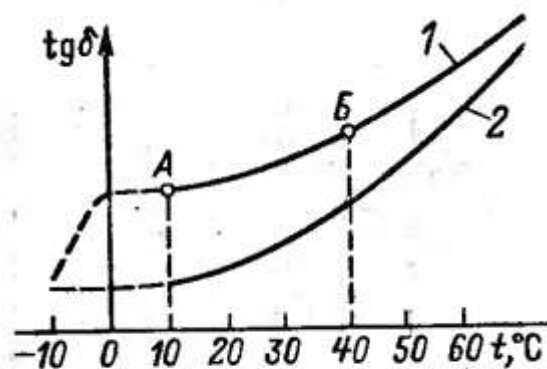


Рис. 1.9

Рис. 1.9. Зависимость  $\text{tg}\delta$  изоляции от температуры:

1 — увлажненная изоляция; 2 — сухая изоляция; AB — зона устойчивых измерений; пунктиром показаны участки неустойчивых измерений

Зависимость  $\text{tg}\delta$  от напряжения объясняется степенью ионизации, особенно бурно наступающей после критического напряжения (точка *Б* на рис. 1.9).

Для электрических машин  $\text{tg}\delta$  не дает характерных результатов из-за сильного влияния на результат его изменения короны (внешней ионизации), не характеризующей состояние изоляции, а также связывающего состава изоляции класса В.

Измерение  $\text{tg}\delta$  широко используется для оценки состояния изоляции трансформаторов и вводов высокого напряжения. Измерение рекомендуется производить при температуре от 10 до 40°C. Возможно приведение значения  $\text{tg}\delta$  к необходимой температуре.

Значения коэффициентов  $\text{tg}\delta$  в зависимости от температуры приведены ниже:

Разность температур $t_2 - t_1$ . . . . .	1	2	3	4	5	10	15
Коэффициент изменения $\text{tg}\delta$ волокнистой изоляции . . . . .	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,31	1,51
Коэффициент изменения $\text{tg}\delta$ трансформаторного масла . . . . .	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22	1,5	1,84

Разность температур $t_2 - t_1$ . . . . .	20	25	30	35	40	45	60
Коэффициент изменения $\text{tg}\delta$ волокнистой изоляции . . . . .	1,75	2	2,3	—	—	—	—
Коэффициент изменения $\text{tg}\delta$ трансформаторного масла . . . . .	2,25	2,75	3,4	4,15	5,1	6,2	7,5

Измерения  $\text{tg}\delta$  при температуре ниже 10 °C не производятся по той же причине, что и другие изоляционные измерения (см. выше).

Испытание изоляции повышенным напряжением. Для выявления грубых и сосредоточенных дефектов в главной и междувитковой изоляции, которые из-за недостаточного уровня напряженности электрического поля при предварительной проверке и измерениях не могли быть обнаружены, производится испытание изоляции повышенным напряжением, которое является основным испытанием, после которого выносится окончательное суждение о возможности нормальной работы оборудования в условиях эксплуатации.

Испытание проводится только после предварительной проверки состояния изоляции и при условии удовлетворительных их результатов. Аппараты с изоляцией, находящейся в масле, кроме того, могут подвергаться испытаниям только при удовлетворительном результате анализа масла. Установленный уровень испытательных напряжений соответствует пробивным напряжениям изоляции при наличии в них сосредоточенных грубых дефектов, поэтому при испытаниях повышенным напряжением и выявляются эти дефекты. Уровень испытательных напряжений ниже уровня пробивного напряжения для нормальной изоляции и уровня заводских испытательных напряжений и составляет 0,75  $U_{\text{исп.зав}}$ . Это объясняется нецелесообразностью развивать во время испытаний незначительные дефекты, не влияющие на нормальную работу, до опасных, существенно уменьшающих электрическую прочность во время эксплуатации и не выявленных при испытаниях.

В качестве испытательного напряжения используется обычно напряжение промышленной частоты 50 Гц. В заводских условиях испытания электрооборудования с номинальным напряжением 300 кВ и выше иногда производятся при частоте 100 Гц и больше. Напряжение промышленной частоты доступно в условиях эксплуатации, а кроме того, обеспечивает возможность проведения испытания изоляции при наличии таких же диэлектрических потерь (а именно они и вызывают тепловой пробой) и такого же распределения градиентов электрического поля, как и в условиях эксплуатации.

Время приложения испытательного напряжения ограничено во избежание преждевременного старения ее: для главной изоляции - 1 мин, для междувитковой изоляции - 5 мин. Продолжительность испытания междувитковой изоляции больше потому, что запас электрической прочности у витковой изоляции значительно выше, чем у главной. Указанного времени обычно достаточно для осмотра электрооборудования во время его испытания и выявления места пробоя. Испытание повышенным напряжением производится напряжением не только переменного тока, но и выпрямленным. Последнее используется главным образом для испытания изоляции крупных электрических машин, тяг выключателей, разрядников и силовых кабелей. Основным недостатком испытания выпрямленным напряжением является неравномерное распределение напряжения по толще изоляции из-за неоднородности ее и распределения напряжения в зависимости от проводимости отдельных ее частей. Однако у выпрямленного напряжения есть и большие преимущества:

1) у электрических машин распределение напряжения вдоль обмотки более равномерно при выпрямленном напряжении, благодаря чему одинаково испытываются пазовые и лобовые части ее;

2) требуемая мощность выпрямительных установок высокого напряжения значительно меньше мощности установок переменного напряжения, благодаря чему передвижные установки всегда менее громоздки и более портативны (последнее имеет большое значение для наладочных работ, производимых на объектах, территориально разбросанных и требующих транспортировки установок);

3) выпрямленное напряжение более безопасно для изоляции и потому пробивное выпрямленное напряжение выше, чем переменное, в среднем в 1,5 раза.

Преимуществом выпрямленного напряжения является также возможность при испытаниях измерять токи утечки, которые являются дополнительным критерием оценки состояния изоляции и предупреждают о развитии теплового пробоя во время испытаний (рис. 1.10). Время испытания изоляции выпрямленным напряжением более продолжительно, чем время испытания переменным напряжением, и установлено нормами до 10-20 мин, что позволяет внимательней осматривать изоляцию оборудования для выявления пробоев при испытаниях.

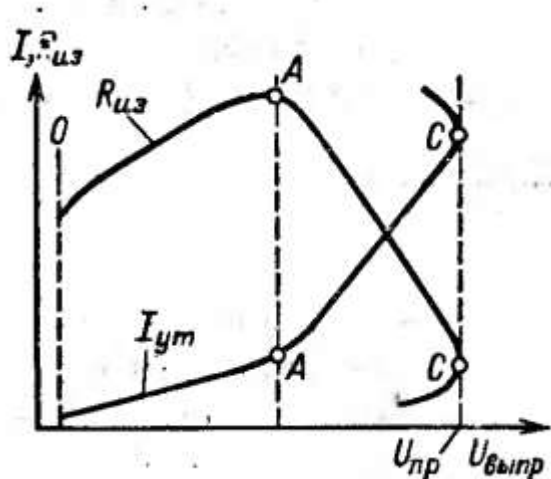


Рис. 1.10. Зависимость сопротивления изоляции  $R_{из}$  и тока утечки  $I_{ут}$  от приложенного выпрямленного напряжения:

Участок  $OA$  — дефект не проявляется;  $A$  — критическая точка, после которой  $R_{из}$  резко падает, а  $I_{ут}$  резко возрастает; участок  $AC$  — сильная ионизация дефектного промежутка, форсирование условий для пробоя;  $C$  — точка пробоя изоляции при напряжении пробоя  $U_{пр}$

Некоторую специфику имеют испытания междувитковой изоляции. С помощью технических средств, имеющихся в распоряжении наладочных организаций, эффективно испытать междувитковую изоляцию не представляется возможным.

У силовых и измерительных трансформаторов испытание междувитковой изоляции повышенным напряжением возможно лишь при тройной промышленной частоте, как это делается на заводах-изготовителях, но таких портативных установок промышленность не выпускает. Испытание при промышленной частоте, и то лишь до значения, предельно ограниченного характеристикой намагничивания, т. е. до уровня напряжения, не обеспечивающего эффективность испытания, сопровождалось бы токами недопустимого значения. По этой причине испытание междувитковой изоляции у силовых и измерительных трансформаторов не производится. У электрических двигателей при вводе их в эксплуатацию междувитковая изоляция повышенным напряжением также не испытывается.

Междувитковая изоляция подвергается испытанию у генераторов путем повышения возбуждения при вращении его на холостом ходу до возможного значения  $1,3U_{ном}$ . Однако такой уровень испытательного напряжения при уровне прочности изоляции, значительно превышающем уровень главной изоляции, малоэффективен. Испытание это имеет значение лишь для эксплуатационного персонала, убеждающегося при этом в нормальной работе изоляции в условиях возможных эксплуатационных перенапряжений.

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Методика определения состояния токоведущих частей и их контактных соединений основана на непосредственном влиянии на сопротивление постоянному току качества выполнения и дефектов их (обрывы, короткозамкнутые витки, нарушения целостности и т. п.).

При наличии значительного количества короткозамкнутых витков измеренное сопротивление постоянному току обмоток, как правило, меньше, а при обрыве или нарушении контактных соединений оно превышает приведенное в паспорте или в протоколах предыдущих измерений.

Нарушение последовательности изменения сопротивления постоянному току обмоток силовых трансформаторов при его измерении по отпайкам является признаком того, что отпайки на переключателях подключены неверно. При этом отклонение одного из измерений от предыдущих и заводских данных является признаком дефекта соединения обмотки с переключателем или нарушения пайки внутри обмотки.

При наличии нарушений пайки «петушков» у якоря машин постоянного тока имеет место значительное отклонение сопротивления постоянному току, измеренного между парой коллекторных пластин, от сопротивления остальных исправных пар.

При плохом регулировании контактов выключателя имеет место значительное превышение переходного сопротивления постоянному току силовых контактов против нормативных данных. Признаком неудовлетворительной регулировки контактов является также значительное расхождение сопротивлений постоянному току по отдельным фазам.

Встречающиеся в практике значения измеряемых сопротивлений постоянному току определяют выбор класса и типа прибора, с помощью которого должно производиться измерение. Нормальные сопротивления постоянному току обмоток силовых трансформаторов, генераторов, компенсаторов, мощных электродвигателей, контактов выключателей, разъединителей, якорных и последовательных обмоток машин постоянного тока обычно составляют очень небольшие значения (значительно меньше 1 Ом). Сопротивления же постоянному току обмоток электродвигателей небольшой мощности, обмоток реле обычно значительно больше 1 Ом.

Наиболее точным, простым и удобным в работе методом измерения является *мостовой метод*. Малые величины (менее 10 Ом) измеряют *двойным мостом*, большие (более 10 Ом) - *одинарным мостом*. В настоящее время находят широкое применение *универсальные мосты*, измеряющие как малые, так и большие величины. Точность мостовых способов измерения сопротивления постоянному току достигает 0,01 %, что вполне удовлетворяет требованиям.

Достаточно широкое применение также имеет *метод амперметра-вольтметра*. Метод этот менее точен, чем мостовой, так как требует одновременного измерения тока и напряжения; класс измерения определяется суммарным классом точности измерения амперметра и вольтметра, т. е. при классе точности каждого прибора 0,5 % точность измерения составляет 1 %.

Состояние заземляющих проводок и качество их монтажа оценивают по результатам специальных измерений, производимых *измерителем заземления*. Измерения очень малых сопротивлений (меньше 0,01 Ом) производятся микроомметрами.

Малые значения сопротивления постоянному току переходных сопротивлений различных контактов удобно оценивать не измерением их сопротивления, а *измерением падения напряжения* на участках одинаковой длины ошиновки, не имеющей контактного соединения, и с наличием контактного соединения при одном и том же токе. Если падение напряжения на участке ошиновки с контактным соединением ненамного отличается от падения напряжений на участке без соединения, то это является признаком удовлетворительного состояния контакта.

Результаты, полученные при измерении сопротивления постоянному току, не являются единственным критерием состояния токоведущих частей. Дополнительно качество контактов может определяться специальным испытанием- прогревом их током от постороннего источника или рабочим током нагрузки и определением степени нагрева.

## ПРОВЕРКА СОСТОЯНИЯ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОБОРУДОВАНИЯ

Общепринятым способом определения состояния магнитопроводов электромагнитов и их обмоток является измерение тока или потерь холостого хода, а также снятие характеристик намагничивания.

У силовых трансформаторов измеряют потери, у трансформаторов напряжения - ток холостого хода. Измеренные значения потерь и токов сравниваются с паспортными или опытными данными для проверяемого типа оборудования. Превышение их, тем более значительное, является признаком повреждения магнитопровода (нарушение изоляции между листами стали, замыкание пакетов) или замыкания части витков обмоток.

У измерительных трансформаторов тока (ТТ) и дросселей снимается характеристика зависимости тока намагничивания  $i_{\text{нам}}$  в обмотке от подаваемого на нее напряжения  $U$ . Характер изменения  $i_{\text{нам}}$ , особенно в начальной части (до перегиба), позволяет судить (рис. 1.1) о наличии у ТТ междувиткового повреждения (короткозамкнутых витков). Резкое снижение характеристики намагничивания в начальной ее части в этом случае объясняется значительным размагничиванием магнитопровода при малых значениях магнитного потока. При незначительном количестве замкнутых витков характеристика изменяется только в начальной части, при значительном - и в насыщенной области. Снятые характеристики намагничивания ТТ сравниваются с типовыми или опытными. Значительные отклонения характеристик от типовых или опытных также являются признаком повреждения.

Состояние магнитопроводов электрических машин проверяется снятием характеристик холостого хода и короткого замыкания (у синхронных генераторов), а также нагрузочных характеристик (у машин постоянного тока) и сравнением полученных характеристик с заводскими, имеющимися в сопроводительной документации. По характеристикам одновременно определяются дополнительные параметры, необходимые для наладки устройств регулирования возбуждения и дальнейших расчетов, производимых при эксплуатации.

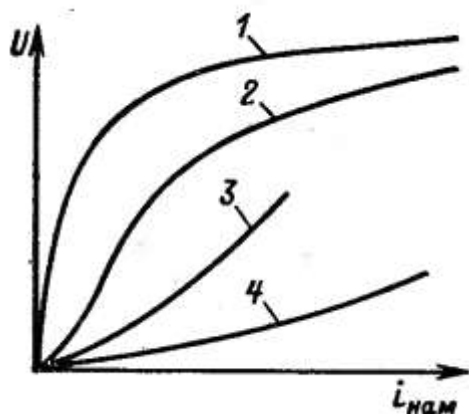


Рис. 1.1 Зависимость  $i_{\text{нам}}$  от подаваемого напряжения  $U$  в обмотку исправного трансформатора тока и при наличии короткозамкнутых витков:

1 — исправный ТТ; 2 — ТТ с малым количеством короткозамкнутых витков (один-два витка); 3 — закорочены три-четыре витка; 4 — закорочено значительное количество витков



## **ВНЕШНИЙ ОСМОТР И ПРОВЕРКА МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ**

При внешнем осмотре проверяется:

- отсутствие мусора и захламления на месте установки ЭМ;
- комплектность машины – наличие вентилятора и его кожуха, кольца для крюка подъёма, клемного паспортного щитка и обозначений на них; соответствие паспортных данных машины проекту на данную электроустановку (ЭУ);
- наличие и содержание технической документации по ревизии или ремонту ЭМ;
- аполнение подшипников смазкой и отсутствие его течи;
- отсутствие во внутренних частях машины посторонних предметов;
- соответствие предусмотренного заводом-изготовителем направления вращения ЭМ;
- целость изоляции и соединений видимых частей обмоток и выводов;
- надежность креплений и распорок лобовых частей обмоток, расстояние между неизолированными токоведущими частями и корпусом;
- состояние коллекторов, щеткодержателей и щеток, соответствие их техническим условиям;
- наличие и качество выполнения заземления ЭМ;
- состояние соединительной муфты или ременной, цепочной передачи и защитного кожуха.

### **Измерение величины воздушных зазоров между статором и ротором.**

Величина воздушных зазоров проверяется набором щупов. Зазор проверяется под каждым полюсом у ЭМ с явновыраженными полюсами и не менее чем в 4-8 точках у неявнополюсной ЭМ. Зазоры проверяются при нескольких положениях ротора. По величине зазоров можно определить форму наружной поверхности неявнополюсного ротора или равномерность посадки полюсов явнополюсного ротора.

### **Проворачивание ротора.**

Проворачивание ротора ЭМ проводится для проверки свободного вращения его и отсутствия заклинивания. Для небольших машин проворачивание производят вручную через соединительную муфту или крыльчатку вентилятора.

У машин большой мощности проворачивание делается с помощью лома или подъёмного крана. Для этого трос закрепляется на валу и наматывается несколько витков на вал, другой конец троса закрепляется на крюке крана и раскручивание производится подъемом крюка крана.

Проворачивание ротора производится при первом пуске ЭМ или после её длительной стоянки.

## **ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ЭМ.**

### **Измерение сопротивления изоляции ЭМ.**

Сопротивление изоляции обмоток ЭМ напряжением до 1000 В. измеряют с помощью мегаомметра на напряжение 500-1000 В.

Сопротивление изоляции обмоток ЭМ, имеющих шесть выводов, рекомендуется измерять пофазно, при этом обмотки фаз, на которых не измеряется сопротивление изоляции, присоединяются к корпусу ЭМ.

Сопротивление изоляции обмоток ЭМ относительно ее корпуса и сопротивление изоляции между обмотками при рабочей температуре машины не должно быть ниже

$$R_{60} = \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}}$$

где  $R_{60}$  - сопротивление изоляции, измеренное после приложения напряжения мегаомметра через 60 с, Мом;  $U$  – номинальное напряжение обмотки ЭМ В;  $P$  – номинальная мощность машины, кВт.

При этом сопротивление изоляции обмоток ЭМ должно быть не менее 0,5 Мом.

Сопр.из. обмоток роторов ЭМ при температуре +10 - +30 градусов должно быть для генераторов и синх.компенсаторов не ниже 0,5 Мом, для Эл.двигателей не менее 0,2 Мом.



Для безопасности по окончании измерений каждая обмотка соединяется с корпусом машины на время не менее 15 с для ЭМ до 1000 кВт и не менее 1 мин при большей мощности.

### Испытание изоляции обмоток ЭМ повышенным напряжением.

Испытание изоляции обмоток ЭМ, имеющих шесть выводов, производится пофазно. При испытании из одной фазы две другие соединяются с корпусом. Испытательное напряжение должно измеряться непосредственно у объекта, а не путем пересчета напряжения, подводимого к испытательному тр-ру. Изоляция считается выдержавшей испытание если не было ее пробоя. Появление короны или поверхностных скользящих разрядов при этом не принимается во внимание, но считается пробоем если произошел пробой по поверхности изоляции с ее повреждением.

### Измерение сопротивлений постоянному току обмоток ЭМ.

Измерение сопротивления обмоток пост. току производится для выявления дефектов: некачественных соединений, витковых замыканий, ошибок в схеме соединений, уточнения параметров, используемых при расчетах.

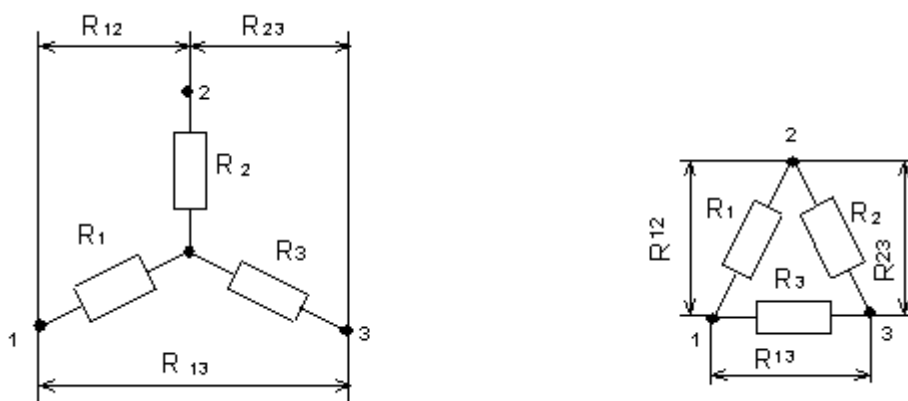
Сопротивление измеряется или с помощью амперметра и вольтметра, или двойным мостом.

При сопротивлении более 1 Ома можно применять двойной мост.

Сопротивление пост. току обмоток ЭМ с теми выводами обмоток, когда соединение обмоток в звезду или треугольник выполнено внутри машины, производится между двумя выводами попарно.

В этом случае сопротивление отдельных фаз определяется по формулам.

При соединении в звезду



$$R_1 = \frac{1}{2}(R_{1,2} + R_{1,3} - R_{2,3}); \quad R_2 = \frac{1}{2}(R_{1,2} + R_{2,3} - R_{1,3}); \quad R_3 = \frac{1}{2}(R_{1,3} + R_{2,3} - R_{1,2})$$

при одинаковых значениях измеренных сопротивлений  $R_1 = R_2 = R_3 = \frac{R_{1,2}}{2}$ ;

соединение в треугольник

$$R_1 = \frac{1}{2} \left[ \frac{4R_{2,3}R_{1,3}}{-R_{1,2} + R_{2,3} + R_{1,3}} - (-R_{1,2} + R_{2,3} + R_{1,3}) \right]$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \left[ \frac{4R_{1,3}R_{1,2}}{R_{1,2} - R_{2,3} + R_{1,3}} - (R_{1,2} - R_{2,3} + R_{1,3}) \right] \quad R_3 = \frac{1}{2} \left[ \frac{4R_{1,3}R_{2,3}}{R_{1,2} + R_{2,3} - R_{1,3}} - (R_{1,2} + R_{2,3} - R_{1,3}) \right]$$

при одинаковых значениях измеренных сопротивлений  $R_1 = R_2 = R_3 = \frac{3}{2}R_{1,2}$

Сопротивление обмотки зависит от её температуры, поэтому большое значение имеет правильное определение температуры обмотки.

Для измерения температуры ЭМ в зависимости от мощности устанавливают:

1 термометр или температурный индикатор при мощности до 10 кВт; не менее двух при мощности от 10 до 100 кВт; не менее трех от 100 до 1000 кВт; и не менее четырех свыше 1000 кВт. Среднеарифметическое из измеренных значений считают температурой обмотки.

Если невозможно измерить температуру обмоток ЭМ то она должна находиться в месте измерения сопротивления обмоток в нерабочем состоянии до тех пор, пока её температура не примет температуру окружающей среды. Изменение температуры окружающей среды за это время не должно быть не более  $\pm 5^\circ \text{C}$  При этом температурой обмоток является температура окружающей

среды во время измерения сопротивления. Измерения сопротивления повторяют несколько раз. Результаты одного и того же сопротивления не должны отличаться от среднего более чем на  $\pm 0,5\%$ . За действительное сопротивление принимается среднее арифметическое результатов всех измерений.

Для сравнений результатов измерений, измеренные величины приводятся к одной температуре.

## **ПЕРВЫЙ ПУСК ДВИГАТЕЛЯ.**

Первый пробный пуск двигателя производится после окончания все его испытаний и при их положительных результатах.

Пуск двигателя производится наладчиками в присутствии представителя электро-монтажной организации. При этом пускаются несколько Эл.двигателей, входящих в одну Эл.установку.

Перед пуском двигатель должен быть подготовлен и пуск проведен с осторожностью.

Необходимо проверить комплектность двигателя, состояние передачи от двигателя к механизму, наличие ее кожуха и кожуха вентилятора двигателя, наличие смазки в подшипниках, устройство заземления. Все виды защит двигателя должны быть испытаны и поставлены на минимальные уставки.

Перед пробным пуском двигателя нужно провернуть его и проверить свободный ход.

На случай отказа схемы управления двигателем при его отключении необходимо предусмотреть аварийное снятие напряжения ближайшим рубильником или автоматам. 157

При двигателе большой мощности или протяженном механизме необходимо расставить наблюдающих за работой двигателя и механизма.

Сначала двигатель пускается на 1-2 с. При этом проверяется направление вращения, работа механической части и поведение механизма.

При нормальном первом включении двигатель включается до разгона на полные обороты. При этом следят за током нагрузки по амперметру и по поведению двигателя, за состоянием защиты, работой щеток при их наличии, по звуку определяют, нет ли задевания вращающихся частей за неподвижные, нет ли вибрации, нагрева подшипников.

При всех замеченных неполадках двигатель немедленно отключается без предупреждения.

При удовлетворительных результатах пробных пусков двигатель включается на более продолжительное время на обкатку. При этом проверяют нагрев подшипников, обмоток, стали магнитопровода.

При пробных пусках двигатель-генераторов нужно разомкнуть цепь обмоток возбуждения генератора.

## **ИЗМЕРЕНИЕ ВИБРАЦИИ ЭМ.**

Величина вибрации измеряется на всех подшипниках ЭМ в горизонтально- поперечном (перпендикулярно оси вала), горизонтально-осевом и вертикальном направлениях.

Измерение в двух первых направлениях производится на уровне оси вала, а в вертикальном – в наивысшей точке подшипника.

Вибрация измеряется виброметрами.

Повышенная вибрация может быть вызвана электромагнитными или механическими или иными причинами.

Электромагнитные причины:

неправильное выполнение соединений отдельных частей или фаз обмоток;  
недостаточная жесткость корпуса статора, в следствии чего активная часть якоря притягивается к полюсам индуктора и вибрирует;  
замыкания различного вида в обмотках ЭМ;  
обрывы одной или нескольких параллельных ветвей обмоток;  
неравномерный воздушный зазор между статором и ротором.

Механические причины:

неправильная центровка ЭМ с рабочей машиной;  
неисправности в соединительной муфте;  
искривление вала; неуравновешенность вращающихся частей ЭМ или рабочей машины;

ослабление крепления или посадки вращающихся частей.

## СУШКА ЭМ

### Общие сведения.

При измерении сопротивления изоляции обмоток ЭМ может оказаться, что сопротивление изоляции понижено. В таком случае ЭМ подлежит сушке.

Целью сушки является удаление влаги из обмоток машины. Удаление влаги из обмоток происходит за счет перемещения влаги от более нагретой к более холодной. Перемещение влаги происходит за счет перепада влажности в разных слоях изоляции, движением её из слоев с большей влажностью в слои с меньшей влажностью. Перепад влажности создается перепадом температуры.

Перепад температуры можно создать нагреванием внутренних частей обмотки тем же усилителем процесс сушки. При сушке сильно увлажненной изоляции температурный перепад можно создать периодическим обдуванием машины снаружи холодным воздухом и повторным нагреванием её изоляции. Существует много методов сушки ЭМ, например внешним нагреванием, током от постороннего источника, нагревание током короткого замыкания, потерями в активной стали или потерями в корпусе машины.

При малой эффективности одного метода сушки можно применить два метода комбинированно.

Метод сушки выбирается в зависимости от имеющихся возможностей и степени увлажнения изоляции. Наиболее интенсивной сушкой сильно увлажненной изоляции является сушка током. При этом следует учесть что сушка током сильно увлажненной изоляции может привести к её вспучиванию. Постоянный ток может оказать электрическое действие (пробой изоляции), поэтому сушку сильно увлажненной изоляции рекомендуется проводить другими методами, например внешним нагревом.

Присушке нагревать обмотку и сталь магнитопровода нужно постепенно, иначе при быстром нагреве температура внутренних частей может достичь опасной величины при нормальном нагреве наружных частей. Кроме того при разной степени расширения обмотки магнитопровода и деталей машины возможны механические повреждения.

При сушке током необходимая плавность повышения температуры обмотки может достигнута временным его отключением.

В начале сушки машины её сопротивление изоляции обычно понижается по мере нагревания, затем начинает возрастать, потом становится постоянным или немного меняется в процессе сушки.

Наименьшая величина сопротивления изоляции, при которой машина может включена в сеть, составляет 1 кОм на 1 В номинального напряжения машины, но не ниже 0,5 мОм.

### Сушка внешним нагреванием.

Сушка внешним нагревом производится с разборкой машины. Разборка машины необходима как для улучшения сушки и сокращения её времени, так и для полного удаления влаги и ржавчины из зазора.

Простейшим способом сушки внешним нагревом является нагрев лампами накаливания, помещенных внутрь статора машины на лист асбеста. Лучше брать две лампы. Например при мощности машины 30 кВт можно взять две лампы мощностью по 300 Вт, для машины 75 кВт две лампы по 500 Вт, для машины 110 кВт две лампы 1000 Вт.

Вместо ламп накаливания внешний нагрев можно выполнить с помощью трубчатых нагревателей (ТЭН), которые удовлетворяют необходимой мощностью. Их устанавливают внутрь статора на теплостойкую подкладку.

Нагрев статора машины можно также выполнить с помощью струи горячего воздуха от воздушнонагревателя, например электрокалорифера.

Нагрев так же можно выполнить и в специальном сушильном шкафу.

### Сушка током от посторонних источников.

Этим методом можно сушить ЭМ всех типов. Это возможно тогда, когда изоляция машины сильно не увлажнена, т.е. нет капель влаги, и имеется источник низкого напряжения для получения нужного тока для сушки. Этот ток не должен быть больше 0,5 номинального тока машины.

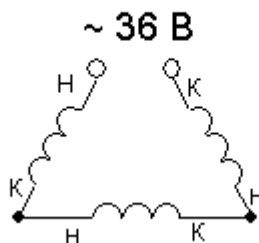
**Сушка асинхронных двигателей.** При сушке АД трехфазным током его ротор надежно затормаживают, а к статору подводят ток напряжением около 0,1 номинального напряжения двигателя. Обмотка фазного ротора замыкается накоротко. Сушить таким способом можно и при вынутом роторе. Сушка двигателей с двойной клеткой в роторе производится при вынутом роторе во избежание перегрева обмотки ротора.

Для сушки могут применяться трехфазные трансформаторы напряжением 36 В необходимой мощности

При отсутствии трехфазного трансформатора сушку двигателя можно выполнить с помощью сварочного трансформатора. В этом случае если ЭД имеет шесть выводных концов, то обмотки фаз соединяются последовательно.

Рис 4.2 н

Схема сушки машины однофазным током



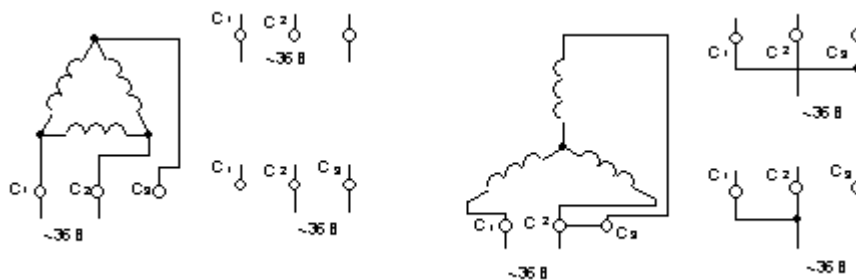
Подача однофазного напряжения на ЭД, с соединением в звезду или треугольник и имеющий три всего вывода, дает неравный ток в фазах обмотки двигателя. Поэтому при трех выводах обмоток двигателя нужно периодически пересоединять провода к разным зажимам двигателя.

#### Сушка синхронных машин.

Синхронные машины могут сушиться также трехфазным током, при этом ротор должен быть вынут во избежание перегрева его обмоток вращающимся полем статора от потерь в его обмотках. Величина необходимого напряжения такое же как и для АД.

Сушка может производиться без вынимания ротора однофазным током, при этом обмотки статора должны быть включены по схеме разомкнутого треугольника. Рис 4.2н.

Рис 4.3.Схема сушки асинхронной машины однофазным током.



При таком соединении обмоток отсутствует трансформаторная связь с роторными обмотками. Необходимое напряжение находится в тех же пределах.

**Сушка машин постоянного тока.** При этом подается постоянный ток низкого напряжения в последовательную цепь машины, состоящую из обмоток якоря, добавочных полюсов, последовательной и компенсационной.

Величину напряжения определяют по величине сопротивления всей цепи и необходимой силе тока.

Якорь при сушке необходимо периодически проворачивать, чтобы все катушки обмоток поочередно включались в цепь. Параллельную обмотку возбуждения можно сушить отдельно.

## МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

### 1. Цель работы.

Целью проведения пуско-наладочных работ на силовых трансформаторах является проверка возможности включения трансформаторов в работу без предварительной ревизии и сушки, а также соответствия их характеристик данным заводов-изготовителей.

## 2. Техника безопасности.

Испытания и измерения силовых трансформаторов может производить бригада в составе не менее 2 человек из лиц ЭТЛ. Производитель работ при высоковольтных испытаниях должен иметь группу по электробезопасности не ниже IV, а остальные не ниже III группы. Работы проводятся по наряду с применением защитных средств.

Все выводы трансформатора на время производства работ должны быть закорочены и заземлены. Снимать закоротки и заземление допускается только на время испытаний.

## 3. Техническая оснащенность.

### 3.1. Средства защиты:

- переносное заземление;
- предупредительные плакаты;
- диэлектрические боты или коврик;
- диэлектрические перчатки.

### 3.2. Приборы:

- мегаомметр электронный Ф 4102/2-М;
- амперметр Э 526;
- мост постоянного тока Р 333;
- испытательная установка АИД-70;
- вольтметр Э 545.

## II. Испытания и измерения.

### 1. Замеры изоляционных характеристик.

Перед началом испытаний необходимо провести внешний осмотр трансформатора, проверить исправность бака и радиаторов, состояние изоляторов, уровень масла, целостность маслоуказательного стекла, заземление трансформатора.

Замеры изоляционных характеристик допускается измерять не ранее чем через 12 ч. после окончания заливки трансформатора маслом. Характеристики изоляции измеряются при температуре изоляции не ниже 10 °С у трансформаторов напряжением до 150 кВ, мощностью до 80 МВА.

#### 1.1. Сопротивление изоляции.

Характеристики изоляции измеряются по схемам и в последовательности, указанным ниже:

1. НН –ВН + Бак
2. ВН –НН + Бак
3. ВН + НН –Бак

При измерении все выводы обмоток одного напряжения соединяют вместе, остальные обмотки и бак трансформатора должны быть заземлены.

В начале измеряют  $R_{60}$  и  $R_{15}$ , а затем остальные характеристики трансформатора.

Сопротивление изоляции трансформатора измеряют по приведенным ниже схемам мегаомметром на 2500 В с верхним пределом измерения не ниже 10000 МОм.

Перед началом измерения все обмотки должны быть заземлены не менее чем на 5 минут, а между отдельными измерениями не менее чем на 2 минуты.

Для трансформаторов на напряжение до 35 кВ включительно, мощностью до 10 МВА сопротивление изоляции обмоток должно быть не ниже следующих значений:

Температура обмотки, °С	10	20	30	40	50	60	70
$R_{60}$ , МОм	450	300	200	130	90	60	40

Сопротивление изоляции сухих трансформаторов при температуре обмоток 20-30 °С должно быть для трансформаторов с номинальным напряжением:

До 1 кВ включительно	–	не менее 100 МОм;
Более 1 кВ до 6 кВ включительно	–	не менее 300 МОм;
Более 6 кВ	–	не менее 500 МОм.

Измерения производятся по схеме, представленной на рис. 1, при соблюдении всех требований техники безопасности, причем рабочая зона должна быть ограждена и вывешены плакаты «СТОЙ, НАПРЯЖЕНИЕ».

Измерение сопротивления изоляции доступных стержней шпилек, бандажей и прессирующих колея относительно активной стали и ярмовых балок, а также ярмовых балок относительно обмоток и магнитопровода.

Производится в случае осмотра активной части трансформатора. Используются мегаомметры на напряжение 1000-2500 В.

Измеренные значения должны быть не менее 0,5 МОм.

### **1.2. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь (см. методику).**

Тангенс угла диэлектрических потерь ( $\text{tg } d$ ) в изоляции и емкости обмоток производят при помощи мостов переменного тока (Р-5026) по перевернутой схеме при напряжении 10 кВ. Испытательное напряжение не должно превышать 60 % номинального напряжения испытуемой обмотки (см. методику замера  $\text{tg } d$ ). Схемы и условия измерения диэлектрических потерь в изоляции силового трансформатора те же, что и при измерении сопротивления изоляции. При сравнении измеренных значений с заводскими учитываются температуры, при которых производились измерения. Зависимость поправочного коэффициента от разности температур приведена ниже. Приведенное к заводской температуре значение  $\text{tg } d$ , измеренное при монтаже, не должно превышать заводских данных более чем на 30 %. Значения  $\text{tg } d$  изоляции, равные или меньше 1 % (после приведения к заводской температуре), с паспортными данными не сравниваются и считаются удовлетворительными.

### **2. Испытание обмоток трансформатора.**

Повышенным напряжением переменного тока от постороннего источника производится вместе с вводами (рис. 2). Испытательное напряжение зависит от класса изоляции обмотки:

Номинальное напряжение обмотки, кВ	до 3	3	6	10	15	20	24	27	35
Испытательное напряжение, кВ, обмоток трансформатора с изоляцией: нормальной	4,5	16	23	32	41	50	59	63	77
облегченной, в том числе сухие трансформаторы	2,7	9	15	22	28	-	-	-	-

Время испытания составляет 1 мин. При отсутствии испытательной установки необходимой мощности испытание обмоток трансформаторов, автотрансформаторов, масляных и дугогасящих реакторов с нормальной изоляцией не проводится. В эксплуатации для обмоток 35 кВ и ниже испытание напряжением переменного тока может быть заменено испытанием выпрямленным напряжением с измерением тока утечки. Выпрямленное испытательное напряжение принимается равным амплитудному значению испытательного напряжения промышленной частоты.

### **3. Измерение сопротивления обмоток постоянному току.**

Измерение производится на всех ответвлениях обмоток, если в паспорте трансформатора нет других указаний.

Измеряются, как правило, линейные сопротивления, при наличии нулевого вывода измеряют также одно из фазных сопротивлений.

Сопротивления обмоток трехфазных трансформаторов, измеренные на одинаковых ответвлениях разных фаз при одинаковой температуре, не должны отличаться 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. Если из-за конструктивных особенностей трансформатора это расхождение может быть большим, и об этом указано в заводской технической документации, следует руководствоваться нормой на допустимое расхождение, приведенное в паспорте трансформатора.

Перед измерением сопротивления обмоток трансформаторов, снабженных устройствами регулирования напряжения, следует произвести не менее трех полных циклов переключения.

### **4. Коэффициент трансформации.**

Коэффициент трансформации силовых трансформаторов определяют для проверки соответствия паспортным данным и правильности подсоединения ответвлений обмоток к переключателям.

Определение коэффициента производится методом «двух вольтметров». По этому методу к одной из обмоток трансформатора подводится напряжение, и двумя вольтметрами одновременно измеряется подводимое напряжение и напряжение на другой обмотке трансформатора. Подводимое напряжение не должно превышать номинальное и в тоже время должно составлять не менее 1% номинального напряжения.

Испытания трехфазных трансформаторов допустимо производить при трехфазном и однофазном возбуждении. При этом измеряют линейные напряжения на одноименных зажимах обеих обмоток.

Коэффициент трансформации находят для всех ответвлений обмоток и всех фаз, и не должен отличаться более чем на 2 % от значений, указанных в паспорте трансформатора для каждого положения переключателя.

При испытаниях трехобмоточных трансформаторов достаточно определить коэффициент трансформации для двух пар обмоток.

Работа производится при строгом соблюдении всех требований правил техники безопасности, при этом подача напряжения производится на обмотку высокого напряжения, после подключения измерительных приборов.

#### **5. Измерение потерь холостого хода.**

Опыт холостого хода проводят для измерения тока и потерь холостого хода.

Измерение производится у трансформаторов мощностью 1000 кВА и более, при напряжении, подводимом к обмотке низшего напряжения, равном указанному в протоколе заводских испытаний (паспорте). У трехфазных трансформаторов потери холостого хода измеряются при однофазном возбуждении по схемам, применяемым на заводе-изготовителе.

В трехфазных трансформаторах токи холостого хода различных фаз за счет различной длины пути потока каждой фазы несколько различаются. Ток средней фазы обычно на 20-35 % меньше тока крайних фаз.

У трехфазных трансформаторов соотношение потерь в разных фазах не должно отличаться от соотношений, приведенных в протоколе заводских испытаний (паспорте), более чем на 5 %.

У однофазных трансформаторов отличие измеренных значений не должно превышать 10 %.

Ток холостого хода трехфазного трансформатора  $I_x$  определяется как среднеарифметическое токов трех фаз и выражается в процентах номинального тока  $I_{ном}$ .

$$I_x = (I_{изм.} / I_{ном.}) \times 100$$

#### **6. Проверка группы соединений обмоток трехфазных трансформаторов и полярности выводов однофазных трансформаторов.**

Проверка проводится при отсутствии паспортных данных методом двух вольтметров, либо методом импульсов постоянного тока, если отсутствуют паспортные данные или есть сомнения в достоверности имеющихся данных.

Группа соединений должна соответствовать указанным в паспорте трансформатора, а полярность выводов – обозначениям на крышке трансформатора.

#### **7. Проверка работы переключающего устройства.**

Снятие круговой диаграммы производится на всех положениях переключателя. Диаграмма не должна отличаться от диаграммы завода-изготовителя. Проверку срабатывания устройства следует производить согласно заводским инструкциям.

#### **8. Проверка системы охлаждения.**

Режим работы охлаждающих устройств должен соответствовать заводской инструкции.

#### **9. Фазировка трансформатора.**

Должно иметь место совпадение по фазам.

#### **10. Испытания трансформаторного масла.**

Испытания трансформаторного масла перед вводом в эксплуатацию трансформаторов производится в соответствии с табл. 25.2 п. 1-7 «Объемов и норм». По решению руководителя предприятия испытания масла по пп. 1, 6,7 табл. 25.2 могут не производиться.

У трансформаторов всех напряжений масло из бака РПН испытывается в соответствии с инструкцией завода-изготовителя. У трансформаторов напряжения 35 кВ включительно масло испытывается на пробу в течение первого месяца эксплуатации 3 раза. Масло из трансформаторов мощностью до 630 кВА включительно, установленных в эл. сетях, допускается не испытывать.

Испытания трансформаторного масла проводятся Заказчиком в специализированной лаборатории, имеющей право на испытание масла.

#### **11. Испытания вводов.**

Испытания вводов проводятся в соответствии с методикой испытания вводов.

#### **12. Испытание встроенных трансформаторов тока.**

Испытание встроенных трансформаторов тока проводятся в соответствии с методикой испытания измерительных трансформаторов.

### 13. Испытание включением толчком на номинальное напряжение.

В процессе 3-5 кратного включения трансформатора на номинальное напряжение не должны иметь место явления, указывающие на неудовлетворительное состояние трансформатора.

Результаты заносятся в протокол.

### Измерение сопротивления обмоток постоянному току.

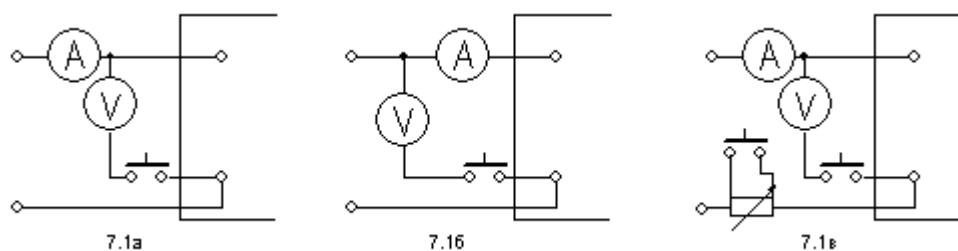
Измерение можно производить способом падения напряжения или с помощью моста.

Величина постоянного тока при измерении не более 0,2 от номинального тока.

При измерении сопротивления одной обмотки, другие обмотки должны быть разомкнуты при всех положениях переключающего устройства.

В качестве источника питания постоянного тока при измерениях применяется аккумуляторная батарея. Допускается применение выпрямительного устройства с пульсацией напряжения не более 1 %.

**Измерение способом падения напряжения.** Если измеряемое сопротивление меньше 10 Ом, то применяют схему при измерениях 7.1а, если же сопротивление больше 10 Ом, то применяют схему при измерениях 7.1б. Для сокращения времени установки тока, применяют схему 7.1в. Сокращение времени установки тока достигается кратковременным форсированием тока замыканием резистора R. Величина резистора R должна быть в 5 – 10 раз больше сопротивления измеряемой обмотки.



**Измерение при помощи моста** производится в соответствии с инструкцией на измерительный мост.

Измерение сопротивлений менее 0,0001 Ом производится с помощью двойного измерительного моста.

**Измерение диэлектрических параметров изоляции.** К таким параметрам относятся сопротивление изоляции  $R_{из}$ , тангенс угла диэлектрических потерь  $tg \delta$  и емкость изоляции C.

Измерительные приборы:

1. Мегаомметр постоянного напряжения не менее 2500 В. Допускается применение мегомметра на 1000 В для измерения сопротивления изоляции трансформатора с высшим напряжением до 10кВ включительно.

Рекомендуется применять мегаомметр типа Ф4108 или другие класса точности не менее 2,5.

2. Измерительный мост с питанием от источника переменного напряжения 50 гц для измерения  $tg \delta$  и C обмоток.

Температура обмотки при измерении не менее + 10<sup>0</sup> С.

**Измерение сопротивления изоляции обмоток и определение коэффициента абсорбции.**

Измерение сопротивление изоляции проводят по схеме.

Обмотка на которой  
производится  
НН  
ВН  
ВН + НН

Заземление части  
трансформатора  
ВН, бак  
НН, бак  
бак

Выводы обмоток (НН – обмотка низкого напряжения, ВН – обмотка высокого напряжения), на которых производится измерение, соединяются между собой.

Перед началом каждого измерения испытываемую обмотку заземляют на время 120 сек.

При измерении сопротивления изоляции отсчет производится дважды: через 15 и 60 сек. после появления на трансформаторе напряжения, при котором производится измерение. Действительное сопротивление изоляции это сопротивление изоляции, измеренное через 60 с.

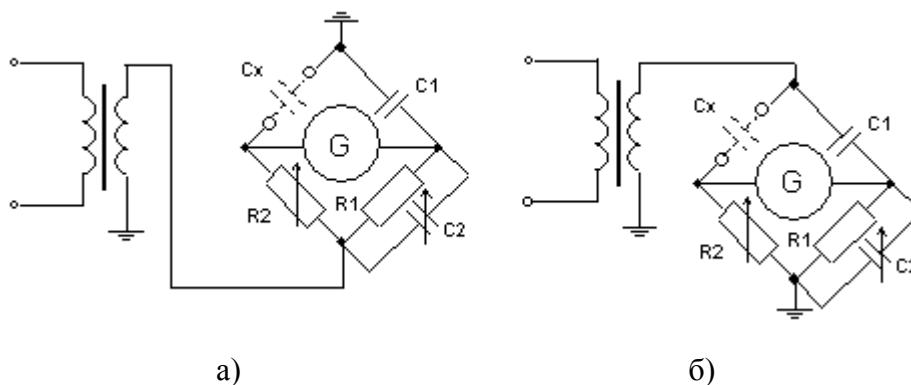


Коэффициент абсорбции равен

$$K_{AD} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$$

$R_{60}$  - величина  $R_{uz}$  при отсчете через 60 с после появления на трансформаторе напряжения, при котором производится измерение,  $R_{15}$  - то же через 15 с.

**Измерение  $\text{tg } \delta$  С обмоток.** Соединение обмоток при измерениях, такое же как и при измерениях сопротивления изоляции. Измерение производят с помощью моста переменного тока по схемам



а) – перевернутая схема; б) – нормальная схема; Т – питающий трансформатор; С1 – образцовый конденсатор; R2 – регулировочный резистор; C2 – регулировочный конденсатор; Сх – испытуемый объект; G – гальванометр.

### Фазировка трансформаторов.

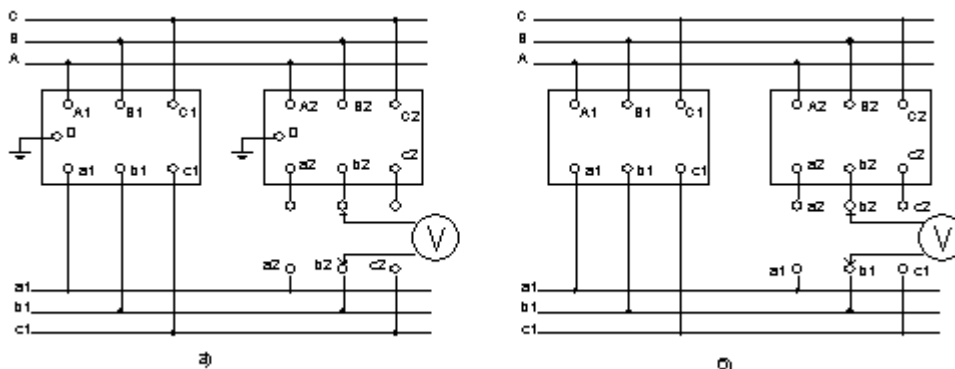
Фазировка трансформаторов проводится для включения их на параллельную работу.

Условия параллельной работы трансформаторов:

1. – группы соединений обмоток тр-ров должны быть одинаковы;
2. – равенство коэффициентов трансформации линейных напряжений на холостом ходу;
3. – равенство напряжений короткого замыкания.

Фазировка тр-ров это проверка совпадения фаз вторичных напряжений у двух трансформаторов, включаемых на параллельную работу.

Как правило фазировка выполняется на низшем напряжении трансформаторов. На обмотках напряжением до 1000 В фазировка проводится вольтметром на соответствующее напряжение.



Для получения замкнутого электрического контура при выполнении измерений, фазуемые обмотки следует предварительно соединить в одной точке, у обмоток с заземленной нейтралью такой точкой является соединение нейтралей через землю.

У обмоток с изолированной нейтралью перефазировкой соединяют любые два вывода фазуемых обмоток.

При фазировке трансформаторов с заземленными нейтральными, см рис а – измеряют напряжение между выводом  $a1$  и тремя выводами  $a2, b2, c2$ , затем между выводом  $b1$  и этими же тремя выводами, и наконец между  $c1$  и всё теми же тремя выводами.

При фазировке трансформаторов без заземленных нейтральных, см рис б, последовательно ставят переключку сначала между выводами  $a2 - a1$  и измеряют напряжение между выводами  $b2 - b1$  и  $c2 - c1$ , затем ставят переключку между выводами  $b2 - b1$  и замеряют напряжение между выводами  $a2 - a1$  и  $c2 - c1$ , и наконец ставят переключку между выводами  $c2 - c1$  и замеряют напряжение между выводами  $a2 - a1$  и  $b2 - b1$ .

Для параллельной работы трансформаторов соединяются те выводы между которыми нет напряжения.

## Трансформаторное масло

### Назначение трансформаторного масла.

Трансформаторное масло играет роль изоляционной и охлаждающей среды. В выключателях оно служит для гашения дуги и для изоляции.

Правильная эксплуатация изоляционного масла обеспечивает надежную и безаварийную работу электрооборудования.

### Свойства трансформаторного масла.

В процессе эксплуатации отдельные качественные показатели и свойства масла меняются оно стареет. Старение масла в процессе эксплуатации определяется по изменению кислотного числа, по количеству образующегося в нем шлама, и по реакции водной вытяжки.

Кислотным числом масла называют количество миллиграмм калия необходимого для нейтрализации всех свободных кислых соединений, входящих в состав одного грамма масла. По величине кислотного числа судят о степени старения масла и о возможности оставления его в работе. При определенной степени окисления масла, изоляция обмоток трансформатора ухудшает свои качества и может разрушиться.

Шлам выпадает из масла в результате его старения и отлагается в каналах охлаждения, изоляции, на сердечниках трансформаторов и другого электрооборудования, ухудшая условия охлаждения данного оборудования. При этом изоляция этого электрооборудования быстрее стареет и разрушается, что может привести к авариям, например витковым замыканиям в обмотках трансформаторов.

Реакция водной вытяжки служит для определения присутствия растворенных в воде кислот и щелочей с помощью специальных индикаторов, которые способны менять цвет от наличия в масле кислот и щелочей. Эти кислоты, способствуя быстрому окислению масла, могут вызвать металл и изоляции в электрооборудовании или в аппарате.

Физические свойства масла имеют важное значение для надежной работы электрооборудования. Изменение этих свойств говорит о неисправности оборудования и старения масла.

Удельный вес масла должен быть меньше удельного веса льда. Так как лед, который может образоваться зимой в отключенном трансформаторе, опустится на дно, и тем самым обеспечивая циркуляцию масла.

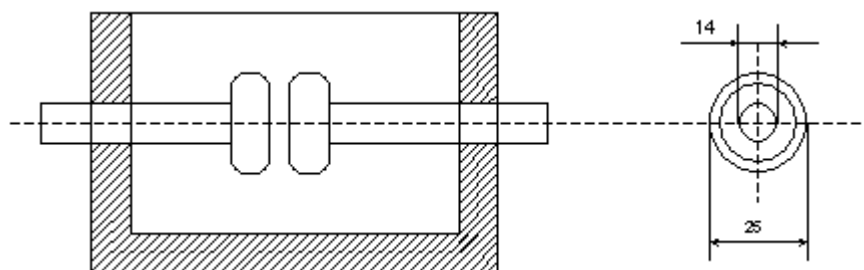
Температура вспышки масла должна быть относительно высокой для того, чтобы при значительных перегрузках трансформатора оно не могло воспламениться. В процессе работы температура вспышки масла в трансформаторах может резко понижаться в результате разложения масла под действием местных нагревов.

### Электрические свойства масла.

Диэлектрическая прочность масла обеспечивает надежную работу электрического оборудования. Диэлектрическая прочность масла со временем понижается. Для определения электрической прочности масло периодически испытывают на пробой с помощью масло-пробойного аппарата. Аппарат подключается к сети переменного напряжения величиной 220 В. вторичное напряжение аппарата равно 60 кВ эфф. С пределом регулирования от 0 до 60 кВ. для испытания на пробой масло заливают в фарфоровый сосуд, в котором смонтированы два дисковых электрода толщиной 8 мм и диаметров 25 мм. расстояние между дисками устанавливается 2,5 мм. сосуд наполняют маслом и устанавливают в маслопробойник. Маслу дают отстояться в течении 20 мин, чтобы из него вышел воздух. Далее плавно поднимают напряжение со скоростью 1 – 2 кВ в

секунду до наступления пробоя. При испытании масла необходимо сделать 6 пробоев с интервалом 10 минут. Первый пробой считают пробным и его результат не учитывается. За величину пробойного напряжения принимается среднеарифметическое из пяти последующих пробоев.

При неудовлетворительных результатах испытаний берется повторная проба, после чего дается окончательное заключение.



Маслопробойный сосуд с электродами.

**Анализ масла перед заливкой.** Каждая партия поступившего с завода масла должна перед заливкой в оборудование подвергаться однократным испытаниям по показателям приведенных в таблице.

Значения показателей при испытании масла, должны быть не хуже приведенных в этой таблице.

Предельные допустимые величины показателей качества трансформаторного масла.

№	Показатель качества масла	Разные ГОСТы и ТУ	
		Свежее сухое масло перед заливкой в оборудование	Масло непосредственно после заливки в оборудование
1.	Минимальное пробивное напряжение масла, кВ, определяемое в стандартном сосуде, для трансформаторов и изоляторов напряжением: До 15 кВ 15 – 35 кВ 60 – 220 кВ 330 – 500 кВ	30 35 45 55	25 30 40 50
2.	Содержание механических примесей.	Отсутствие	Отсутствие
3.	Содержание взвешенного угля: В трансформаторах В выключателях	Отсутствие Отсутствие	Отсутствие Отсутствие
4.	Кислотное число, мг КОН на 1 г масла не более	0,02; 0,03; 0,01	0,02; 0,03; 0,01
5.	Реакция водной вытяжки	Нейтральная	Нейтральная
6.	Температура вспышки, гр С, не ниже	135 – 150	135 – 150
7.	Вязкость кинематическая, $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , не более: При +20 гр С При +50 гр С	28 – 30 9,0	- -
8.	Температура застывания, гр С, не выше	-45, -53	-
9.	Натровая проба в баллах, не более	1	-
10.	Прозрачность при +5 гр С	Прозрачно	Прозрачно
11.	Общая стабильность против окисления (по ГОСТ 981 – 55) Количество осадка после окисления, % не более	0,01; 0,03 или	-

	Кислотное число окисленного масла, мг КОН на 1 гр масла , не более	отсутствие 01; 0,03	-
12	Тангенс угла диэлектрических потерь, % не более При +20 гр С При +70 гр С При +90 гр С	0,02;0,05 1,5; 2; 0,7; 0,3 1,5; 0,5	0,4; 0,1 2; 2,5; 0,5 2; 0,7

Масло, которое отбирается из оборудования перед его включением после монтаже, должно подвергаться сокращенному анализу в объеме, предусмотренном в пунктах 1 – 6 этой таблицы.

#### **Испытание трансформаторного масла.**

Свежее масло перед заливкой вновь вводимых трансформаторов, прибывающих без масла, должно быть испытано по показателям пунктов 1, 2, 4 – 12 данной таблицы.

Из трансформаторов, прибывших без масла, до начала монтажа необходимо произвести отбор пробы остатков масла (со дна).

Испытание масла, залитого в трансформатор, перед включением его под напряжение после монтажа, производится по показателям пунктов 1 – 6 таблицы.

Масло из трансформаторов 1 и 2 габаритов, прибывших на монтаж заполненные маслом, при наличии удовлетворительных данных заводских испытаний, проведенных не более чем за 6 месяцев до включения трансформатора в работу, разрешается испытывать только по показателям пунктов 1 и 2 этой таблицы.

#### **Испытание включение трансформатора толчком на номинальное напряжение.**

Включение трансформатора толчком на номинальное напряжение производится 3 – 5 раз. При этом не должно быть явлений, говорящие об неудовлетворительном состоянии трансформатора.

## МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ И НАЛАДКИ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ (КРУ) НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1000 В

### 1. Испытания комплектующего КРУ оборудования.

Испытания комплектующего КРУ оборудования – масляных выключателей, выключателей нагрузки, разъединителей, измерительных трансформаторов, разрядников и т.д. производятся методами и по нормам, изложенным в соответствующих методиках.

### 2. Проверка механизма доводки и блокировки.

Проверка механизма доводки и блокировки производится в рабочем и испытательном положении. При попытке вывода тележки из закрепленного положения с включенным выключателем последний должен отключаться. Отключение выключателя должно происходить раньше перемещения тележки, вызывающего размыкание первичных разъединяющих контактов.

### 3. Проверка действия защитных шторок.

Проверка действия защитных шторок, обеспечивающих безопасность при производстве ремонтных работ, производится выдвиганием тележки в ремонтное положение. При этом шторки под действием собственной массы должны закрыть окна. При вкатывании тележки шторки должны автоматически подниматься, открывая окна для прохода подвижных контактов первичной цепи.

### 4. Проверка работы механических блокировок.

Проверка работы механических блокировок производится многократным (пять) вкатыванием тележки. При этом не должно быть перекосов и заеданий.

### 5. Измерения переходного сопротивления разъемов

Измерения переходного сопротивления первичных разъединяющих контактов, контактов сборных шин производятся при помощи двойного моста, микроомметра или методом амперметра-вольтметра. Если шкафы КРУ установлены прислонно к стенке и доступ к неподвижным контактам затруднен, измерение переходных сопротивлений производится на тележке с помощью вспомогательной медной пластины толщиной 8 – 9 мм или запасного неподвижного контакта. Переходное сопротивление разъединяющих контактов первичных цепей не должно превышать:

Для контактов на 400 А	75 мкОм
Для контактов на 600 А	60 мкОм
Для контактов на 900 А	50 мкОм
Для контактов на 1200 А	40 мкОм
Для контактов на 2000 А и выше	33 мкОм

Переходное сопротивление контактов сборных шин измеряется выборочно и в том случае, если позволяет конструкция КРУ. Сопротивление участка шин в месте контактного соединения не должно превышать более чем в 1,2 раза сопротивление участка шин той же длины, но без контакта. Переходное сопротивление разъединяющих контактов вторичных цепей измеряется выборочно. Сопротивление контактов должно быть не более 4000 мкОм.

### 6. Измерение давления ламелей.

Измерение давления ламелей разъединяющих контактов первичных производится выборочно при выкаченной тележке КРУ. Сила нажатия каждой ламели на неподвижный контакт или металлическую пластину равной толщины должна быть в пределах 10 – 15 кг.

### 7. Проверка правильности регулировки вторичных разъединяющих контактов.

Проверка правильности регулировки вторичных разъединяющих контактов производится в испытательном положении. Правильно отрегулированные контакты должны удовлетворять следующим требованиям: оси неподвижных и подвижных частей контактов должны совпадать; соединение подвижной и неподвижной частей контактов должно происходить на расстоянии 7 – 17 мм от края пружинящих пластин; ход пружинящих пластин при включении вторичных контактов должен быть не менее 5 мм.

Отгибание пружинящих пластин неподвижного блока не допускается.

## 8. Измерение переходного сопротивления связи заземления

Измерение переходного сопротивления связи заземления тележки с корпусом производится между металлической конструкцией тележки и корпусом; сопротивление не должно превышать 1000 мкОм.

## 9. Измерение сопротивления изоляции.

### 9.1. Измерение сопротивления изоляции элементов из органических материалов

Измерения производятся мегаомметром на напряжение 2500 В.

Сопротивление изоляции должно быть не ниже значений, приведенных в табл. 9.1. РД 34.45-51.300-97.

#### Таблица 9.1.

Наименьшие допустимые значения сопротивления изоляции подвижных частей, выполненных из органических материалов.

Вид испытания	Сопротивление изоляции, МОм, на номинальное напряжение, кВ		
	3-10	15-150	220 и выше
ПС, М	1000300	30001000	50003000

### 9.1. Измерение сопротивления изоляции вторичных цепей.

Измерения производятся мегаомметром на напряжение 500 — 1000 В.

Сопротивление изоляции каждого присоединения вторичных цепей со всеми присоединенными аппаратами (реле, приборы, вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения и т.п.) должно быть не менее 1 МОм.

Испытание вторичных цепей производится напряжением промышленной частоты 1000 В в течение 1 мин.

## 10. Испытание повышенным напряжением частоты 50 Гц..

### 10.1. Испытание изоляции первичных цепей ячеек.

Испытательное напряжение устанавливается согласно табл. 6.1 РД 34.45-51.300-97.

*Для номинального напряжения 6 кВ испытательное напряжение – 32,0 (37,0) кВ*

*Для номинального напряжения 10 кВ испытательное напряжение – 42,0 (48,0) кВ*

Продолжительность приложения испытательного напряжения для фарфоровой изоляции 1 мин.

Если изоляция ячеек содержит элементы из твердых органических материалов, продолжительность приложения испытательного напряжения составляет 5 мин.

Все выдвижные элементы с выключателями устанавливаются в рабочее положение, включают выключатели; выдвижные элементы с разрядниками, силовыми и измерительными трансформаторами выкатываются в контрольное положение. Испытания повышенным напряжением производится до присоединения силовых кабелей.

Испытания производятся пофазно при заземленных двух других фазах.

## 11. Контроль сборных шин.

Контроль контактных соединений сборных шин должен выполняться согласно методики «Приемо-сдаточных испытаний сборных и соединительных шин».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), М., «Энергия», 1965.
2. Строительные нормы и правила (СНИП Ш-И. 6-67), М., Стройиздат, 1968.
3. З е в а к и н А. И., Комплектные шинопроводы до 1000 в, М., «Энергия», 1968.
4. Б о й ч е н к о В. И., Монтаж токопроводов 6—10 кв, М., «Энергия», 1968.
5. А п о л ь ц е в Ю. А., Повышение надежности работы масляных выключателей, М., «Энергия», 1968.
6. А н а с т а с и е в П. И., Сооружение и монтаж ВЛ напряжением до 1 000 в, М., Госэнергоиздат, 1961.
7. Д о р о ш е в К. И., Комплектные распределительные устройства напряжением 3—35 кв, М., «Энергия», 1969.
8. З л о б и н Б. В., Измерения и испытания при монтаже силовых трансформаторов. М., «Энергия», 1962.
9. Ф и г н е р А. А., Ртутные выпрямители. М., «Энергия», 1968.
10. У с т и н о в П. И. Монтаж стационарных свинцово-кислотных аккумуляторов. М., «Энергия», 1968.
11. Н а й ф е л ь д М. Р. Что такое защитное заземление и как его устраивать. М., «Энергия», 1959.
12. А н а с т а с ь е в П. И., Ф р о л о в Ю. А. Сооружение и монтаж линий 3—10 кв. М., «Энергия», 1965.
13. Ч е р н е в К. К. Применение защитных средств в электроустановках. М., «Энергия», 1963.
14. Техническая документация на муфты для силовых кабелей с бумажной и пластмассовой изоляцией до 35 кв. М., «Энергия», 1969.
15. С м и р н о в Л. П. Монтаж кабельных линий. М., «Энергия», 1968