

Глава IX. ИСПЫТАНИЯ СИЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

§ 61. Государственные стандарты и технические условия на изготовление и поставку конденсаторов

Промышленность должна выпускать изделия, обладающие высокими качественными характеристиками, обеспечивающими их экономичность и надежность в эксплуатации. Выпуск недоброкачественных изделий приводит к потерям металла, изоляционных материалов, топлива, электроэнергии, рабочего времени и мощностей оборудования.

Требования, которым должны отвечать силовые конденсаторы, устанавливаются, как и для любой другой продукции, Государственными общесоюзными стандартами (ГОСТами), техническими условиями (ТУ), эталонами, чертежами и утвержденными технологическими процессами.

ГОСТ — это документ, в котором указаны основные типовые параметры продукции и требования к ее качеству. ГОСТы обязательны для всех отраслей промышленности и составляют на все важнейшие виды массовой и крупносерийной продукции.

ТУ — это перечень технических требований, предъ-

являемых к тому или иному виду продукции, не предусмотренной ГОСТами.

Чертежи, технологические процессы и эталоны, разрабатываемые и утверждаемые в установленном порядке, позволяют при изготовлении изделий обеспечить выполнение технических требований и норм, предусмотренных ГОСТами или ТУ.

ГОСТы и ТУ на конденсаторы обычно состоят из следующих разделов:

- общая характеристика и область применения;
- типы, основные параметры и размеры;
- технические требования;
- правила приемки и методы испытаний;
- маркировка;
- упаковка, хранение и транспортирование;
- гарантии изготовителя и т. д.

По первым двум разделам пояснений не требуется. В разделе «Технические требования» рассматриваются условия и режим работы, номинальные значения (по напряжению, емкости, мощности) и допускаемые пределы отклонений от номинальных значений, виды и длительность испытаний, значения испытательных величин и т. п.

В разделе «Правила приемки и методы испытаний» указываются порядок и методика проведения испытаний, необходимые испытательные установки, измерительные приборы и аппаратура. При этом испытания конденсаторов подразделяются на приемо-сдаточные, типовые и периодические.

При приемо-сдаточных испытаниях каждый выпускаемый заводом конденсатор подвергается внешнему осмотру, испытанию на герметичность, а также электрическим испытаниям в такой последовательности: измерение емкости, испытание напряжением, повторное измерение емкости, измерение тангенса угла потерь и т. д.

При типовых и периодических испытаниях детально изучают свойства конденсаторов для выявления их соответствия требованиям ГОСТа или ТУ. Во время таких испытаний определяют характеристики конденсаторов не только при нормальных условиях, но и при утяжеленных режимах, а также после чередующихся режимов (циклов).

Приемо-сдаточные, типовые и периодические испытания проводятся отделом технического контроля завода (ОТК) на контрольно-испытательной станции (КИС),

оборудованной испытательными установками и измерительными приборами.

В разделе «Маркировка» указываются все необходимые параметры и данные, которые должны быть нанесены на каждом выпускаемом конденсаторе. Для маркировки конденсаторов применяют заводские щитки, где указывают организацию, в систему которой входит завод-изготовитель, завод-изготовитель или его товарный знак, тип конденсатора, его заводской номер, рабочее и испытательное напряжения, номинальные емкость и мощность, частоту тока, схему соединения, год выпуска и номер ГОСТа или ТУ. Заводские щитки прочно закрепляют на корпусе конденсатора.

В разделе «Упаковка, хранение и транспортирование» излагаются способы упаковки, предохраняющие конденсаторы от повреждений и попадания в них влаги во время транспортирования и хранения.

Гарантии изготовителя в ГОСТе или в ТУ обязывают завод-изготовитель безвозмездно заменять или ремонтировать вышедшие из строя конденсаторы при условии соблюдения потребителем правил хранения, монтажа и эксплуатации. Обычно гарантийный срок на конденсаторы устанавливается от одного до трех лет.

Строгое соблюдение ГОСТов и ТУ при изготовлении и приемке конденсаторов является важнейшим условием повышения их качества, долговечности, сокращения непроизводительных расходов и потерь, связанных с браком.

§ 62. Испытания конденсаторов на герметичность

Попадание влаги и воздуха внутрь конденсаторов из окружающей среды, как известно, приводит к возрастанию проводимости диэлектрика, увеличению тангенса угла диэлектрических потерь, снижению электрической прочности и, следовательно, к преждевременному выходу конденсаторов из строя. Кроме того, в конденсаторах постоянного тока влага способствует развитию в диэлектрике электрохимических явлений и его ускоренному старению.

Влага и воздух попадают внутрь конденсаторов, если в них имеются негерметичные места. Поэтому при выпуске конденсаторы должны быть подвергнуты тщательным испытаниям на герметичность, которые проводятся

в термокамерах. После окончательной герметизации и тщательного обезжиривания сварные и паяные швы конденсаторов обмазывают водным раствором мела и помещают в термокамеру. Конденсаторы в изоляционных корпусах с резиновым уплотнением испытывают, не обмазывая мелом. В термокамере конденсаторы разогревают и в нагретом состоянии выдерживают в течение нескольких часов.

Конденсаторы, пропитанные конденсаторным и касторовым маслами, нагревают до 65—70°, а пропитанные хлорированными дифенилами — до 85—90° С, что соответствует максимально допустимым рабочим температурам внутри их диэлектрика. В технологических инструкциях указывается время разогрева конденсаторов которое в зависимости от габаритов составляет 8—16 ч.

Места течи конденсаторов обнаруживают по появлению жирных пятен и полос на обмазанной мелом поверхности (от смачивания пропитывающей жидкостью) или следов течи в местах уплотнений. В процессе разогрева необходимо периодически осматривать конденсаторы и при обнаружении течи извлекать из камеры во избежание вытекания пропитывающей жидкости. Негерметичные конденсаторы направляют на исправление и после устранения течи снова испытывают.

§ 63. Измерение емкости

Емкости выпускаемых силовых конденсаторов колеблются в широких пределах: от 500 пФ до 1000 мкФ. В зависимости от типа и назначения конденсаторов отклонения их емкости от номинальных значений допускаются от $\pm 2\%$ (конденсаторы группы связи) до $\pm 20\%$ (конденсаторы ЭСВ и ФМТ, отдельные типы конденсаторов ИК). ГОСТами и ТУ на конденсаторы установлены методы измерения емкости, обеспечивающие определенную точность измерений. Относительная погрешность измерений для конденсаторов с допуском по емкости $\pm 2\%$ обычно составляет не более 0,5%, для конденсаторов с большими допусками не должна превышать 2—3%.

Отечественная промышленность для измерения емкости силовых конденсаторов выпускает стрелочные приборы различных систем с непосредственным отсчетом (микрофарадометры), мосты низкого напряжения, а также мосты высокого напряжения, позволяющие одновре-

менно с емкостью измерять тангенс угла потерь конденсаторов. Наибольшее распространение получили мосты высокого напряжения Р-5026 и Р-507.

Измерение емкости является первой операцией при электрических испытаниях конденсаторов. Цель измерения — выявить соответствие емкости конденсатора техническим требованиям ГОСТа или ТУ. Конденсаторы, соответствующие техническим требованиям по емкости, подвергаются дальнейшим электрическим испытаниям. Конденсаторы с емкостью, выходящей за пределы допусков (с завышенной или заниженной емкостью), отсутствием ее (обрывом цепи) или коротким замыканием обкладок, бракуют, снабжают биркой с указанием вида дефекта и передают для выяснения причин брака и исправления. Результаты измерения емкости каждого конденсатора регистрируют в журнале приемо-сдаточных испытаний.

При измерениях емкости конденсаторов необходимо учитывать следующее:

конденсаторы, выводами которых служат крышки (в фарфоровых и бакелитовых корпусах) или один из выводов которых соединен с корпусом, должны быть изолированы от земли; их устанавливают на изоляционные подставки, что позволяет избежать погрешности в измерениях, а в отдельных случаях и предотвратить выход из строя измерительной аппаратуры;

измерительные провода могут иметь значительную емкость и вносить, особенно при измерениях малых емкостей, большую погрешность; поэтому длина измерительных проводов должна быть минимальной, а в необходимых случаях емкость проводов следует учитывать в результатах измерения (вычитать из показаний прибора).

Емкость однофазных конденсаторов определяют непосредственным отсчетом по измерительному прибору. В конденсаторах, имеющих несколько параллельных групп (ЭСВ, ЭСВП, ФМТ и др.), емкость измеряют по группам между общим выводом и выводами каждой из групп. Общая емкость конденсатора подсчитывается путем суммирования емкостей отдельных групп.

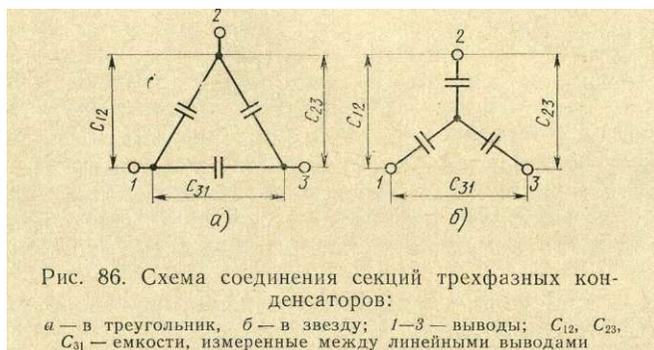
Наибольшую сложность представляют измерения емкости трехфазных конденсаторов, секции которых соединены в треугольник или в звезду (рис. 86). Для определения емкости поочередно производят три измерения

между линейными выводами. Полная емкость конденсатора:

для соединения в треугольник

$$C = 2/3(C_{12} + C_{23} + C_{31}),$$

для соединения в звезду $C = 2(C_{12} + C_{23} + C_{31})$.



§ 64. Испытания конденсаторов повышенным напряжением

Испытания конденсаторов повышенным напряжением (см. § 9) производят, прикладывая к ним испытательное напряжение. Цель этих испытаний — проверить достаточность запаса электрической прочности и обнаружить скрытые дефекты, которые могли возникнуть в процессе изготовления конденсаторов, а также из-за дефектов в применяемых материалах.

Испытание конденсаторов напряжением выполняют непосредственно после измерения емкости. Испытанию подвергаются как диэлектрик между обкладками, так и изоляция относительно корпуса. В первом случае напряжение прикладывают между выводами конденсатора, во втором — выводы конденсатора замыкают коротко, а напряжение прикладывают между закороченными выводами и корпусом.

Конденсаторы в изоляционных корпусах испытывают напряжением между обкладками. Конденсаторы в металлических корпусах, у которых один из выводов соединен с корпусом, испытывают между изолированными выводами и выводом, соединенным с корпусом. При этих испытаниях одновременно проверяют диэлектрик между обкладками и изоляцию от корпуса.

В зависимости от типа и назначения конденсаторы испытывают напряжением переменного или постоянного тока. Отдельные типы конденсаторов допускается испытывать напряжением как переменного, так и постоянного тока.

Величина испытательного напряжения и длительность испытаний указываются в ГОСТе или ТУ на каждый тип конденсатора.

Испытание кратковременным воздействием напряжения хотя и позволяет отбраковать дефектные конденсаторы, но не гарантирует надежность в эксплуатации всех конденсаторов, выдержавших данные испытания. Повышение испытательного напряжения не только не увеличивает, а наоборот, снижает надежность испытанных конденсаторов. Поэтому особо ответственные конденсаторы переменного тока помимо кратковременных прямо-сдаточных испытаний испытываются в течение 48 ч при более низком напряжении, которое обычно принимается равным 120% номинального.

Приемо-сдаточные испытания конденсаторов повышенным напряжением, как правило, проводят при нормальных условиях (температура, влажность, давление) окружающей среды. Поверхности изолирующих деталей, находящихся в воздухе (изоляторов, изоляционных корпусов и т. д.), перед испытанием должны быть тщательно протерты.

Основная задача испытателя состоит в том, чтобы правильно определить пробой или другие повреждения в конденсаторе и отбраковать дефектные конденсаторы. О наступлении пробоя можно судить по показаниям измерительных приборов, по внутренним и внешним электрическим разрядам, механическим повреждениям корпуса и изоляторов, а также по изменению емкости конденсатора после испытаний напряжением.

По показаниям измерительных приборов испытательной установки легко обнаруживают пробой на корпус у всех типов конденсаторов и пробой между обкладками у конденсаторов с параллельным соединением секций в выемной части. В этих случаях при пробое возникает полное короткое замыкание, в результате которого стрелка вольтметра, предназначенного для контроля испытательного напряжения, падает до нуля, а показания амперметра резко возрастают из-за протекания в цепи конденсатора тока короткого замыкания. Кроме

того, пробой сопровождается резким звуковым эффектом, а иногда и механическим повреждением конденсатора.

Пробои между обкладками у конденсаторов с последовательным соединением секций или групп секций в выемной части также можно обнаруживать по показаниям приборов или по звуку разрядов. Однако при пробое секций в отдельных группах полного короткого замыкания не происходит и отклонения показаний приборов менее значительны. Чем больше последовательно соединенных групп в конденсаторе, тем меньше отклонения показаний приборов. Когда таких групп более 50, отклонения показаний приборов могут быть не замечены. Поэтому для проверки секций на пробой после испытания напряжением измеряют емкость конденсаторов. Если емкость изменилась, значит произошел пробой.

Как известно, емкость конденсатора, собранного из последовательно соединенных групп секций (или секций), $C = C_0/n$, где C_0 — емкость последовательной группы; n — число последовательно соединенных групп в конденсаторе.

При пробое хотя бы одной секции в группе емкость этой группы шунтируется каналом пробоя (замыкается накоротко мостиком, состоящим из сажи и распыленных частичек фольги, или непосредственным соединением двух обкладок). Число последовательно соединенных групп уменьшается, вследствие чего общая емкость конденсатора увеличивается. Таким образом, пробой секций в последовательно соединенных группах вызывает возрастание емкости конденсатора.

По возрастанию емкости можно судить о числе групп, в которых произошел пробой секций. Число групп K с пробитыми секциями может быть определено по формуле

$$K = n(C_2 - C_1)/C_2,$$

где C_1 и C_2 — емкость конденсатора до и после испытаний.

Пример. Емкость конденсатора КС6.3, состоящего из шести последовательно соединенных групп секций, до испытания составляла 2 мкФ, а после испытаний — 3 мкФ. Отсюда

$$K = \frac{6(3-2)}{3} = 2,$$

т. е. при испытаниях в конденсаторе произошел пробой секций в двух группах.

При приемо-сдаточных испытаниях конденсаторов напряжением между обкладками, особенно при испытаниях разрядами накоротко, кроме пробоев секций могут происходить отпайки токоподводов и другие обрывы в схеме соединения. В конденсаторах с параллельным соединением секций, имеющих плавкие предохранители, пробой секций сопровождается перегоранием предохранителей.

Распайки, обрывы и перегорания секционных предохранителей обычно вызывают уменьшение емкости конденсаторов и не всегда могут быть обнаружены в процессе испытания напряжением. Вот почему эти дефекты, как и пробой секций, лучше всего выявлять также путем измерения емкости после испытаний напряжением.

Конденсаторы считаются выдержавшими испытания повышенным напряжением, если в процессе испытаний не наблюдалось пробоя или частичных нарушений изоляции, отмеченных по звуку разрядов и по показаниям приборов, не произошло механических повреждений конденсаторов, а также если емкость после испытаний осталась такой же, как и до испытаний.

Исключением являются конденсаторы с параллельным соединением секций, имеющие предохранители. Для этих конденсаторов допускается уменьшение емкости из-за перегорания предохранителей. Однако ее величина должна оставаться в пределах допусков по емкости.

Когда конденсаторы подвергаются длительным испытаниям напряжением, их качество дополнительно оценивают по нагреву и изменению тангенса угла потерь. Конденсаторы считаются выдержавшими испытания, если их перегрев не превысил допустимых пределов и не увеличился тангенс угла потерь.

Испытания конденсаторов повышенным напряжением производят с помощью испытательных установок высокого напряжения. Испытательные установки переменного и постоянного тока выполняют в виде самостоятельных кабин, которые снабжают необходимым для испытаний оборудованием, измерительной аппаратурой, защитными и сигнальными приспособлениями. Управляют установками с пультов, располагаемых вне кабин.

§ 65. Испытательные установки переменного тока промышленной частоты

При испытаниях различных типов конденсаторов переменным током применяют испытательные напряжения от нескольких сот вольт до нескольких сот киловольт. Для получения напряжения в указанных пределах используют ряд испытательных установок, каждая из ко-

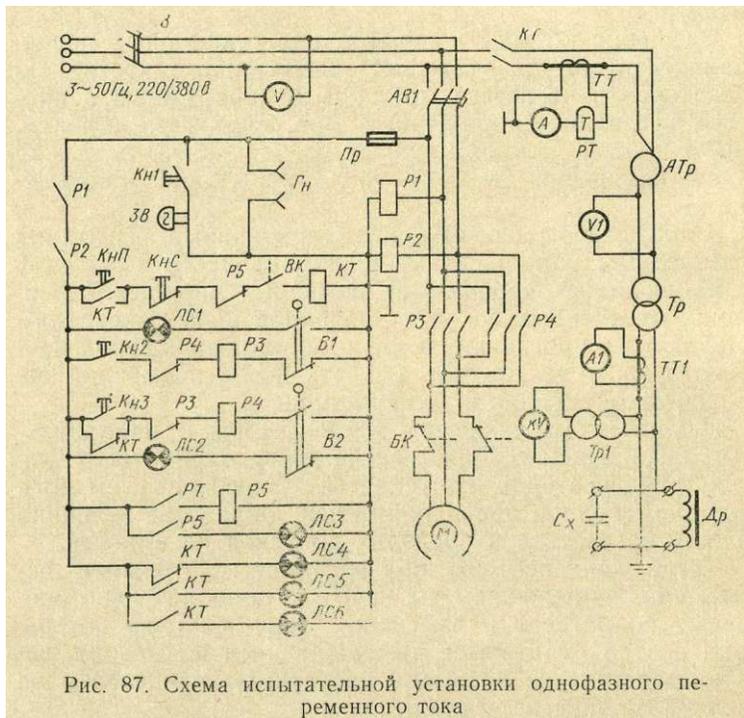


Рис. 87. Схема испытательной установки однофазного переменного тока

торых рассчитана на определенное максимальное напряжение (до 10, 40, 100, 200 кВ и т. д.) Однако, отличаясь по максимальному испытательному напряжению, установки одинаковы по устройству и принципиальной схеме.

В каждую испытательную установку входят: испытательный трансформатор, устройство для регулирования напряжения, дроссели для компенсации емкостного тока, приборы, измеряющие напряжение и ток, защитные

и сигнальные приспособления, а также основные и дополнительные защитные средства (штанги, разрядники, изолирующие подставки, резиновые коврики, диэлектрические боты и перчатки).

На рис. 87 показана схема испытательной установки однофазного переменного тока. Напряжение от сети через автоматический выключатель АВ и контактор КТ подается на автотрансформатор АТр. Вторичное напряжение с автотрансформатора подводится к испытательному трансформатору Тр, к выводам высокого напряжения которого подключают испытываемые конденсаторы Сх. При испытании между обкладками параллельно конденсаторам подключают дроссели Др. Один из выводов высокого напряжения испытательного трансформатора, кш правило, заземляют.

Для контроля напряжения и тока в первичной и вторичной цепях испытательного трансформатора устанавливают измерительные приборы. Вольтметр и амперметр на стороне высокого напряжения подключают соответственно через трансформатор напряжения Тр1 и трансформатор тока ТТ1. Напряжение сети контролируют вольтметром V, а ток нагрузки в первичной цепи автотрансформатора амперметром А, включенным через трансформатор тока ТТ. Через этот же трансформатор включают также последовательно амперметру максимальное токовое реле РТ, отключающее установку при перегрузках и коротком замыкании.

Управление установкой осуществляется с пульта кабины дистанционным включением и отключением контактора КТ и магнитных пускателей Р3 и Р4 приводного механизма автотрансформатора. Контакт КТ включают и выключают нажатием кнопок КнП (Пуск) и КнС (Стоп). Магнитные пускатели приводного механизма включают и отключают нажатием кнопок Кн2 (Больше) и Кн3 (Меньше).

Двери кабины испытательных установок снабжают электромеханической блокировкой с концевыми выключателями ВК, которая при открывании двери полностью отключает напряжение, питающее установку.

Сигнализация осуществляется сигнальными лампами ЛС1—ЛС6, установленными на пульте и над дверью кабины. Защитные и сигнальные приспособления служат для обеспечения безопасности работающих на установке высокого напряжения.

Включение и отключение установки производят в такой последовательности:

1. Включает автоматический выключатель АВ, при этом вольтметр *V* покажет напряжение сети.

2. Закрывают дверь кабины, благодаря чему замыкаются блокировочные контакты конечных выключателей ВК в цепи катушки контактора КТ.

3. Включают автоматический выключатель *АВ1*, при этом подается напряжение на гнезда *Гн* для подключения вспомогательных электроприборов и на катушки реле *P1* и *P2*. Реле срабатывают и загорается сигнальная лампа *ЛС4*, указывающая, что в цепи управления подано напряжение. Также загорается сигнальная лампа *ЛС2*, свидетельствующая, что подвижные катушки автотрансформатора находятся в исходном положении.

4. Нажатием кнопки *Кн1* подают звуковой сигнал, предупреждающий о том, что на установку будет подано высокое напряжение.

5. Нажатием кнопки *КнП* (Пуск) замыкают цепь питания катушки контактора КТ. От прохождения тока в катушке срабатывает контактор КТ и происходит замыкание главных и замыкающих его контактов и размыкание размыкающих контактов. При замыкании главных контактов напряжение сети подается на автотрансформатор, замыкании замыкающих контактов шунтируется кнопка *КнП*, при отпускании которой не разрывается цепь катушки контактора, и загораются сигнальные лампы *ЛС5* на пульте и *ЛС6*, табло «Стоп! Высокое напряжение» над дверьми кабины, свидетельствующие, что установка находится под высоким напряжением. Из-за размыкания размыкающего контакта сигнальная лампа *ЛС4* гаснет.

6. Нажатием кнопки *Кн2* замыкают цепь питания катушки пускателя РЗ электродвигателя М. От прохождения тока в цепи катушки пускатель срабатывает и происходят замыкание его главных контактов и размыкание размыкающего контакта РЗ в цепи катушки пускателя *P4*, предотвращающая одновременное его включение.

При замыкании главных контактов включается электродвигатель М, в результате чего короткозамкнутые катушки автотрансформатора движутся вниз и напряжение на испытательном трансформаторе повышается до тех пор, пока кнопка нажата. При отпускании этой кнопки разрывается цепь питания катушки пускателя

РЗ, который отключает электродвигатель, и напряжение на испытательном трансформаторе поддерживается на заданном уровне. Если подвижные катушки при нажатой кнопке достигнут крайнего нижнего положения, цепь катушки пускателя *P4* разрывается предельным (концевым) выключателем *В1*, что приводит к автоматической остановке электродвигателя. Одновременно предельным выключателем замыкается цепь сигнальной лампы *ЛС1*. Сигнальная лампа загорается свидетельствуя, что подвижные катушки автотрансформатора находятся в крайнем нижнем положении и напряжение на испытательном трансформаторе максимальное.

7. Нажатием кнопки *КнЗ* замыкают цепь питания катушки пускателя *P4* электродвигателя. Пускатель срабатывает и происходит замыкание его главных контактов и размыкание размыкающего контакта *P4* цепи катушки пускателя РЗ, предотвращая одновременное его включение.

При замыкании главных контактов две фазы в цепи питания электродвигателя меняются местами. Благодаря этому электродвигатель вращается в противоположную сторону, катушки автотрансформатора движутся вверх и напряжение на испытательном трансформаторе снижается до тех пор, пока кнопка *КнЗ* нажата. При отпускании этой кнопки или достижении подвижными катушками крайнего верхнего положения разрывается цепь питания катушки пускателя *P4* и электродвигатель отключается. Электродвигатель в крайнем верхнем положении отключается концевым выключателем *В2*. Последним одновременно замыкается цепь сигнальной лампы. Сигнальная лампа *ЛС2* загорается, свидетельствуя, что подвижные катушки автотрансформатора находятся в крайнем верхнем положении и напряжение на испытательном трансформаторе минимальное.

8. Для отключения установки нажимают на кнопку *КнС* (Стоп), которая разрывает цепь питания катушки контактора КТ, приводя схему к исходному положению. Автотрансформатор отключается от сети, гаснут лампы

ЛС5 и *ЛС6* и загорается *ЛС4*. Установка отключается также при размыкании дверных блокировочных контактов ВК в момент открывания дверей кабины.

Перед отключением напряжение испытательного трансформатора должно быть снято полностью. Когда установку отключают при напряжении на испытатель-

ном трансформаторе, оно автоматически падает до нуля из-за отключения сети контактором КТ. В то же время размыкающий контакт контактора КТ, шунтируя кнопку *КнЗ*, замыкает цепь питания пускателя *Р4*, благодаря чему короткозамкнутые катушки автотрансформатора возвращаются в исходное (крайнее верхнее) положение, соответствующее наименьшему вторичному напряжению.

Отключать цепи управления автоматическим выключателем *АВ1* от сети следует только после полного снятия напряжения с испытательного трансформатора и возвращения короткозамкнутых катушек автотрансформатора в верхнее исходное положение. После этого выключают автоматический выключатель АВ.

Кроме дистанционного управления в приводном механизме автотрансформатора предусмотрено ручное управление рукояткой, которая позволяет перемещать короткозамкнутые катушки вниз и вверх. При ручном управлении блокировочные контакты *БК* предотвращают одновременное включение электродвигателя с помощью дистанционного управления.

В схеме установки предусмотрена токовая и фазовая защиты. При перегрузках по току и коротком замыкании в установке срабатывает токовое реле РТ и своим замыкающим контактом замыкает цепь катушки реле *Р5*. От прохождения тока в цепи катушки реле *Р5* срабатывает и размыкающим контактом разрывает цепь катушки контактора КТ, который отключает напряжение сети от автотрансформатора. Одновременно замыкающим контактом *Р5* замыкается цепь сигнальной лампы *ЛС3*. Лампа загорается, сигнализируя об аварийном отключении установки.

При исчезновении любой из фаз на цепи управления не может быть подано напряжение, так как в этом случае не срабатывают реле *Р1* и *Р2*.

Перед началом испытаний необходимо проверить наличие и исправность защитных средств, затем убедиться в полной исправности установки. Прежде чем войти в кабину, установку надо полностью отключить от сети. После внешнего осмотра и удаления всех посторонних предметов проверяют надежность заземления оборудования, а также осуществляют необходимые переключения обмоток трансформатора и дросселей с учетом испытательного напряжения и емкости испытуемых конденсаторов.

Исправность установки проверяют ее включением и отключением, при этом убеждаются в плавности регулирования напряжения и надежности работы дверных блокировочных контактов. Если автоматические выключатели *АВ* и *АВ1* включены и двери кабины закрыты, на пульте управления должна загореться сигнальная лампа *ЛС4*. При нажатии кнопки *КнП* (Пуск) должны загореться сигнальные лампы *ЛС5* и *ЛС6* и погаснуть *ЛС4*, а при нажатии кнопки *КнС* (Стоп) или открывании двери кабины — погаснуть *ЛС5* и *ЛС6* и загореться *ЛС4*. Отключать кабину нужно как нажатием кнопки, так и открыванием ее дверей.

Плавность регулировки напряжения проверяют, нажимая кнопки *Кн2* (Больше) и *Кн3* (Меньше) и наблюдая за показаниями вольтметров как в первичной, так и во вторичной цепях испытательного трансформатора. Напряжение повышают до испытательного и снимают до нуля.

Кроме того, проверяют надежность отключения установки под напряжением. Напряжение на испытательном трансформаторе повышают до испытательного и отключают установку как кнопкой *КнС* (Стоп), так и открыванием двери кабины, в результате чего напряжение по вольтметрам должно резко падать до нуля. Перед повторным включением установки по загоранию сигнальной лампы *ЛС2* убеждаются, что катушки автотрансформатора приняли верхнее исходное положение.

Для испытаний конденсаторы устанавливают в кабине и надежно подключают к шинам испытательного трансформатора. При испытании между обкладками в случае необходимости параллельно конденсаторам подключают дроссели. Если конденсаторы испытывают на корпус или если один из выводов конденсаторов соединен с корпусом, корпус должен быть подключен к заземленному выводу испытательного трансформатора. Во время испытаний испытатель у пульта управления установкой должен находиться на изоляционной подставке с резиновым ковриком.

В начале испытаний напряжение на конденсаторах плавно повышают до испытательного и конденсаторы выдерживают под напряжением в течение времени, обусловленного требованиями ТУ или ГОСТа. Затем его плавно снижают до нуля и отключают установку. Во время повышения напряжения и выдержки конденсаторов под

напряжением испытатель должен внимательно следить за показаниями приборов и возможным появлением разрядов, чтобы выявить дефектные конденсаторы.

Когда пробой конденсатора вызывает резкое возрастание тока, во избежание длительной перегрузки оборудования и возможного механического повреждения (вспучивания) конденсатора установка должна быть немедленно выключена нажатием кнопки «Стоп».

Конденсаторы после испытаний могут иметь опасное напряжение, поэтому перед отключением от шин испытательного трансформатора их необходимо разрядить специальными разрядниками. Разряд конденсаторов производят как между выводами, так и между выводами и корпусом. Трехфазные конденсаторы разряжают между обкладками одновременным закорачиванием всех видов. При разряде конденсаторов испытатель должен надеть диэлектрические боты и перчатки.

Если в процессе испытаний произойдет отключение испытуемого конденсатора от шин испытательного трансформатора, то после отключения установки должны быть приняты специальные меры для его разряда, так как конденсатор может быть заряжен до амплитудного значения испытательного напряжения. Непосредственно перед измерением емкости после испытания напряжением конденсаторы разряжают повторно.

Подключение дросселей при испытании конденсаторов между обкладками позволяет не только разгрузить испытательное оборудование и линии электропитания, но и испытывать конденсаторы с испытательной мощностью, значительно превышающей мощность испытательного трансформатора.

Схему соединения дросселей определяют на основании предварительных расчетов условий резонанса токов, при котором емкостный ток конденсаторов должен быть равен индуктивному току дросселей. Исходными данными для расчетов являются испытательное напряжение и ток конденсаторов, а также номинальные значения напряжения и тока дросселей.

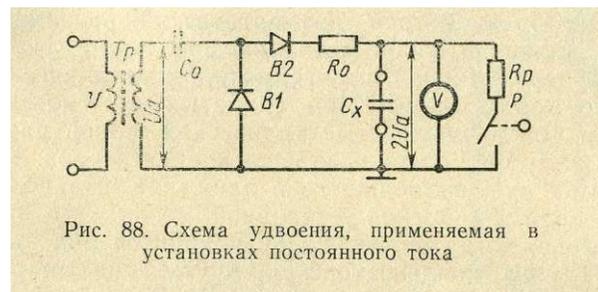
При неточном подборе резонанса разность емкостного и индуктивного токов не должна превышать номинальный ток испытательного трансформатора и автотрансформатора.

При испытании трехфазных конденсаторов схему соединения дросселей определяют аналогично. Поскольку

у таких конденсаторов секции соединены в треугольник, дроссели также соединяют в треугольник. Задача расчета сводится к определению равенства фазных токов конденсаторов и дросселей.

§ 66. Испытательные установки постоянного тока

Испытание конденсаторов повышенным напряжением постоянного тока производят обычно с помощью установок переменного тока (см. § 65), снабжаемых дополнительно выпрямительными устройствами.



Основной частью выпрямителя является вентиль, обладающий способностью пропускать ток только одного направления. В выпрямительных устройствах в качестве вентиля применяют полупроводниковые (купроксные, селеновые, кремниевые) элементы. В зависимости от требуемых напряжения и тока полупроводниковые вентили собирают из большого числа отдельных элементов, соединяемых параллельно-последовательно.

Применяют схемы одно- и двухполупериодного выпрямления, а также схемы удвоения, позволяющие получать выпрямленное напряжение, которое в два с лишним раза выше напряжения, получаемого от испытательного трансформатора. Из схем удвоения для испытания конденсаторов преимущественно используется схема с заземленным полюсом (рис. 88). В первую половину периода переменного тока через вентиль $B1$ конденсатор C_0 заряжается до амплитудного значения напряжения U_a на вторичной обмотке трансформатора Tr . Во вторую половину периода испытуемый конденсатор C_x , включенный через вентиль $B2$ и защитное сопротивление R_0 оказывается под суммарным напряжением заряженного

конденсатора C_0 и трансформатора. Конденсатор C_x заряжается до максимального напряжения, равного $2U_a$. Вентиль $B2$ препятствует разряду испытуемого конденсатора C_x когда не происходит его подзаряд.

Сопротивление R_0 предназначено для защиты вентиля в случае короткого замыкания в цепи испытуемого конденсатора и представляет собой резиновую трубку, заполненную дистиллированной водой. Сопротивление выбирается с таким расчетом, чтобы при коротком замыкании ток вентиля не превышал максимально допустимого.

Для разряда конденсаторов C_0 и C_x после испытания в схеме предусмотрен автоматический разрядник P , представляющий собой металлическую шину, укрепленную на изоляционной штанге, которая механически связана с контактором. При срабатывании контактора штанга, поворачиваясь, металлической шиной размыкает или замыкает разрядные цепи конденсаторов. Катушка контактора, приводящего в движение штангу, включена в цепи управления установкой.

Обычно, когда установка не находится под высоким напряжением, конденсаторы замкнуты шинами разрядника на разрядное сопротивление R_p . Разряжая конденсаторы после испытания, автоматический разрядник предохраняет обслуживающий персонал от попадания под высокое напряжение.

Напряжение при испытаниях измеряют по вольтметру как на стороне низкого, так и на стороне высокого напряжения. При измерениях на стороне низкого напряжения предварительно градуируют вольтметр по шаровым разрядникам. Измерение непосредственно на стороне высокого напряжения производят вольтметрами высокого напряжения. Применяют выпускаемые промышленностью электростатические вольтметры С-96 и С-100 с погрешностью измерения не более 1,5%. Приборы потребляют ничтожно малое количество энергии.

Вольтметр С-96 (рис. 89, а) имеет два электрода — подвижный и неподвижный. Подвижный электрод соединен с экраном, в качестве которого используется корпус прибора. Когда к электродам прикладывают напряжение, подвижный электрод поворачивается на угол, пропорциональный измеряемому напряжению. На подвижном электроде укреплено зеркальце, которое, пово-

рачиваясь вместе с электродом, отбрасывает световой луч на шкалу прибора.

Прибор имеет три предела измерения: 7,5; 15 и 30 кВ. Для измерения на различных пределах регулируют расстояние между электродами, перемещая неподвижный электрод. Кроме того, устанавливают шкалу, соответствующую данному пределу. Входная емкость прибора 12 пФ. Сопротивление изоляции 10^7 Ом.

Вольтметр С-100 открытой конструкции (рис. 89, б) имеет также три предела измерения: 25, 50 и 75 кВ. Подвижный электрод с экраном и основание прибора при работе заземляют. Со-



Рис. 89. Вольтметры:
а — С-96, б — С-100

ответственно пределам измерения прибор имеет три шкалы со световым указателем. Шкалы нанесены на трехгранной призме, которая поворачивается вокруг своей оси. Отсчетное устройство находится внутри экрана подвижного электрода. Оптическая система смонтирована в экране подвижного электрода и основании прибора. В основании прибора находятся также осветительная лампа и трансформатор цепи освещения. Собственная входная емкость прибора не превышает 18 пФ. Сопротивление изоляции измерительной цепи 10^{10} Ом. Ток утечки при напряжении 75 кВ равен 8 мкА.

Цепи освещения вольтметров С-96 и С-100 питаются от сети переменного тока напряжением 127/220 В или от источника постоянного или переменного тока напряжением 6 В.

Вольтметр С-100 предназначен для измерения напряжений в высоковольтных цепях переменного (в широком диапазоне частот) и постоянного токов с одним заземленным полюсом.

Вольтметр С-96 может быть применен как в цепях с одним заземленным полюсом, так и в цепях с изолированными полюсами. В последнем случае прибор должен быть изолирован от земли на полное напряжение, а цепь освещения должна питаться от источника постоянного тока (батареи), также изолированного на полное напряжение.

При подаче на вольтметры напряжения выше допустимого возможны пробой промежутка между электродами и повреждение измерительного механизма. Для защиты от повреждений при измерениях напряжения постоянного и переменного тока промышленной частоты рекомендуется включать приборы через водяное защитное сопротивление.

Если напряжение измеряют в цепях с одним заземленным полюсом, экран прибора, соединенный с подвижным электродом, следует подключать непосредственно к контуру заземления. Подключение прибора к заземленной шине, являющейся частью схемы, особенно если эта часть схемы служит разрядным контуром при испытании конденсаторов, приводит к тому, что экран может оказаться под высоким потенциалом относительно земли. Это вызывает повреждение изоляции осветительной цепи и чаще всего пробой осветительного трансформатора прибора. Для непосредственного измерения напряжения свыше 75 кВ применяют делители напряжения.

Делитель напряжения (рис. 90) представляет собой цепочку последовательно соединенных резисторов с общим сопротивлением r_1 . На один конец этой цепочки подается высокое напряжение U_1 , а другой ее конец заземляется.

Напряжение U_2 , приходящееся на часть элементов цепочки с сопротивлением r_2 и составляющее небольшую часть высокого напряжения, подводимого к делителю, измеряется вольтметром низкого напряжения.

Отношение напряжения U_1 к U_2 , равное отношению сопротивлений r_1 к r_2 , называется коэффициентом деления делителя:

$$K = U_1/U_2 = r_1/r_2,$$

отсюда измеряется высокое напряжение

$$U_1 = r_1 U_2 / r_2 = K U_2.$$

Для получения требуемой точности измерения необходимо брать вольтметр с сопротивлением намного большим сопротивлений r_2 .

Делители напряжения являются неотъемлемыми элементами в схемах осциллографирования и выполняются трех видов: активные (омические), емкостные и комбинированные (емкостно-активные).

При испытании конденсаторов на установках постоянного тока надо соблюдать те же правила, что и при испытании на установках переменного тока. Кроме того, особое внимание следует обращать на работу автоматического разрядника и исправность разрядного и зарядного сопротивлений.

Независимо от разряда автоматическим разрядником конденсаторы после испытаний необходимо индивидуально разряжать вручную при помощи заземленного металлического стержня, укрепленного на изоляционной штанге, а их выводы замыкать накоротко во избежание появления остаточного заряда. Конденсаторы, находящиеся на испытательном поле установки, всегда могут быть заряжены до напряжения опасной величины, если они даже не находились под высоким напряжением. Поэтому все не подвергающиеся испытаниям конденсаторы, расположенные на испытательном поле, должны быть закорочены.

Импульсные испытания производят созданием между выводами конденсатора разрядного промежутка, который устанавливают в соответствии с испытательным напряжением. Частота заряд—разрядов (циклов) регулируется как напряжением, подаваемым на конденсаторы,

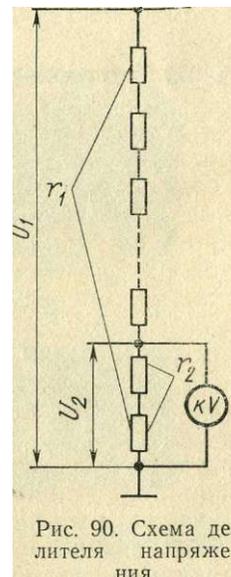


Рис. 90. Схема делителя напряжения

так и ограничивающим сопротивлением в разрядной цепи. Разрядный ток определяется сопротивлением разрядной цепи. При разряде конденсатора на очень малое сопротивление (накоротко) ток в импульсе может достигать очень больших значений (десятков и сотен тысяч ампер), поэтому во избежание повреждения выводов при подключении конденсаторов к разрядной цепи необходимо создавать надежный контакт.

§ 67. Установки переменного тока повышенной частоты

Установки переменного тока повышенной частоты предназначены главным образом для проведения длительных испытаний конденсаторов ЭСВ. Кратковременные испытания этих конденсаторов на электрическую прочность проводят напряжением постоянного тока. В каждую испытательную установку входят: преобразователь, повышающий трансформатор, дроссель, приборы для измерения напряжения и тока, а также защитные и сигнальные приспособления.

Преобразователь предназначен для преобразования трехфазного тока промышленной частоты 50 Гц в однофазный ток повышенной частоты и состоит из генератора однофазного тока повышенной частоты и трехфазного асинхронного двигателя. Преобразователи изготавливают на разные частоты и различной мощности. Для испытания конденсаторов при частотах 2400 и 10 000 Гц преимущественно применяют однокорпусные двухмашинные преобразователи мощностью 100 кВт с воздушным и водяным охлаждением. Генераторы преобразователей рассчитаны на два напряжения: 400 и 800 В. Чтобы включить генератор на то или другое напряжение, переключают его рабочие обмотки на доске зажимов. Напряжение генератора регулируется от нуля до номинального изменением тока в обмотке возбуждения. Возбуждение генераторов — независимое, от постороннего источника постоянного тока.

При работе преобразователи создают шумы, поэтому их устанавливают вне кабины испытательных установок в специально оборудованном помещении — машинном зале. Всю пусковую и относящуюся к двигателям измерительную аппаратуру монтируют в шкафах и также располагают в машинном зале. Измерительные приборы

повышенной частоты и приборы регулирования, касающиеся цепи возбуждения генератора, а также аппаратуру управления генератором сосредоточивают непосредственно на пульте управления кабины.

В качестве повышающих трансформаторов используют специальные, рассчитанные на соответствующую частоту, секционированные трансформаторы, позволяющие ступенями изменять вторичное напряжение.

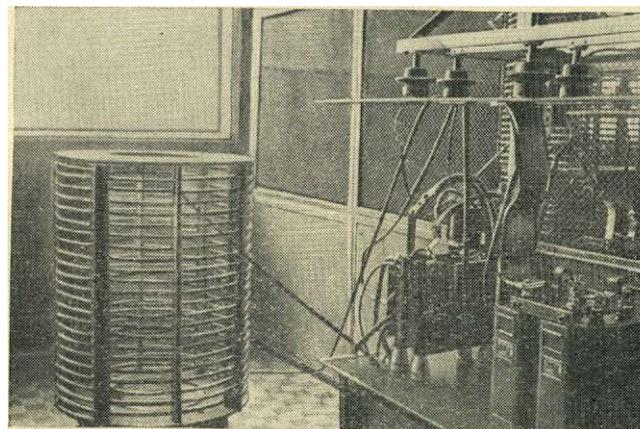


Рис. 91. Дроссель, применяемый в установках переменного тока повышенной частоты

Для компенсации емкостного тока испытуемых конденсаторов применяют дроссели в виде катушек из медной полой трубки диаметром 16—20 мм (рис. 91). Витки катушки намотаны на изоляционный каркас. Дроссели рассчитаны на работу при водяном охлаждении, которое осуществляется пропусканием проточной воды по полым трубкам. Вода подводится к нижнему витку дросселя и выходит из верхнего витка.

Схема установки переменного тока повышенной частоты показана на рис. 92. Запуск установки в работу производят в такой последовательности.

1. Включают автоматический выключатель АВ и выключатель ВК. Автоматический выключатель служит для подачи напряжения на установку и защищает ее от

короткого замыкания и перегрузок. Включением выключателя ВК подается напряжение на цепи управления, при этом на пульте управления загорается сигнальная лампа ЛС, указывающая, что напряжение подано.

2. Нажатием кнопки *КнП* (Пуск) запускают двигатель М преобразователя. При срабатывании контактора

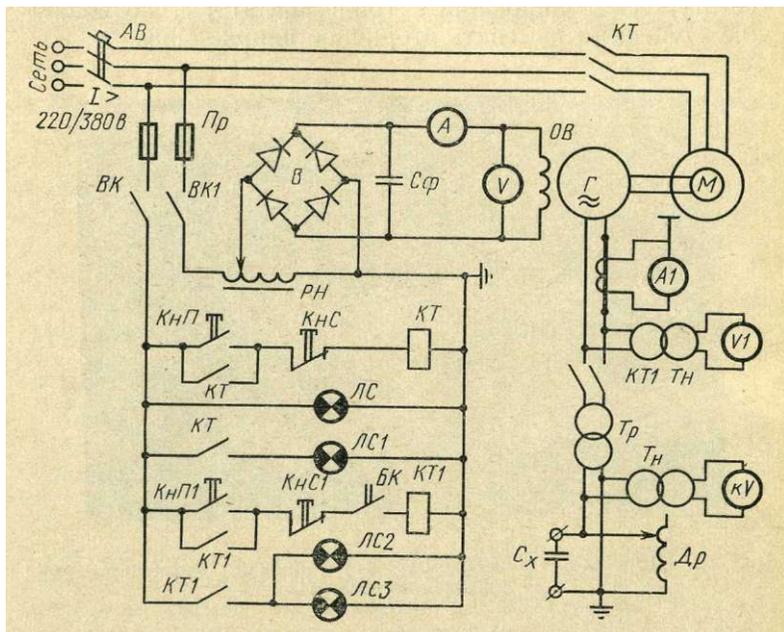


Рис. 92. Схема установки переменного тока повышенной частоты

наряду с главными контактами замыкаются замыкающие контакты. В результате этого шунтируется кнопка «Пуск», при отпускании которой цепь катушки контактора не разрывается и загорается сигнальная лампа

ЛС1, свидетельствующая, что на двигатель подано напряжение. Ввиду тяжелых условий пуска, связанных с появлением больших пусковых токов, отрицательно действующих не только на двигатель, но и на питающую сеть, двигатель включают обычно с помощью трансформаторного пускателя (на схеме не показан), значительно снижающего напряжение на двигателе в момент пуска. Включение производят при невозбужденном генера-

торе и без нагрузки. Перед пуском преобразователей с водяным охлаждением предварительно должна быть подана охлаждающая вода.

3. Закрывают дверь кабины, благодаря чему замыкаются блокировочные контакты *БК*.

4. Нажатием кнопки *КнП* (Пуск) включают генератор Г под нагрузку контактором *КТ1* в первичной цепи повышающего трансформатора *Тр*. При срабатывании контактора одновременно замыкающими его контактами шунтируется кнопка «Пуск» и замыкается цепь сигнальных ламп *ЛС3* на пульте управления и *ЛС2* над дверью кабины, свидетельствующих, что на установку подано высокое напряжение.

5. Включением выключателя *ВК1* подают напряжение на обмотку возбуждения *ОБ* генератора.

Напряжение генератора от нуля до номинального регулируют вручную с помощью рукоятки автотрансформатора *РН*, установленного на пульте управления. Напряжение после автотрансформатора выпрямляется собранным по мостовой схеме выпрямителем *В*. Пульсации выпрямленного напряжения сглаживаются фильтровым конденсатором *Сф* большой емкости. Напряжение и ток обмотки возбуждения контролируют вольтметром *V* и амперметром *A*.

Отключение установки производят в обратной последовательности. Снижают напряжение возбуждения обмотки генератора до нуля, а затем выключают выключатель *ВК1*. Нажатием на кнопку *КнС1* выключают контактор *КТ1* и снимают нагрузку с генератора. И, наконец, нажимая на кнопку *КнС* контактором *КТ* выключают двигатель преобразователя. После окончания испытаний выключают выключатель *ВК* цепей управления и автоматический выключатель *АВ*.

Большинство конденсаторов повышенной частоты для электротермических установок имеют водяное охлаждение, поэтому при испытании охлаждающую систему конденсаторов подключают к водопроводной сети гибкими изоляционными шлангами. Количество охлаждающей воды, проходящей через конденсатор, регулируют вентилем. Давление воды на входе, которое не должно превышать 6×10^5 Па, контролируется манометром. При испытаниях необходимо следить за выходом воды из конденсаторов, поэтому трубки для спуска воды должны быть доступны для наблюдения. В случае прекращения

подачи охлаждающей воды напряжение с конденсаторов немедленно снимают.

Часто при испытаниях для охлаждения применяют воду с температурой на входе конденсаторов 30—35° С, для чего ее подогревают. В целях экономии используют оборотную воду, т. е. воду, которая циркулирует по замкнутой системе. Температура охлаждающей воды поддерживается в заданных пределах автоматически включением и выключением электроподогрева.

Испытания конденсаторов производят при полной компенсации емкостного тока, которая осуществляется подключением параллельно конденсаторам дросселя с определенным числом витков. Число витков дросселя выбирают в зависимости от емкости конденсаторов по заранее составленным таблицам или графикам.

При резонансе большие реактивные токи циркулируют только в колебательном контуре дроссель — испытываемые конденсаторы. Генератор загружается лишь активным током, который контролируется в первичной цепи испытательного трансформатора. В связи с большими токами в колебательном контуре, достигающими 1000 А и более, конденсаторы и дроссель располагают по возможности ближе друг к другу и надежно подключают к шинам испытательного трансформатора при помощи массивных гибких шин.

Правила и порядок работы на установках переменного тока повышенной частоты те же, что и для установок переменного тока промышленной частоты.

В настоящее время наряду с машинными преобразователями для испытания конденсаторов применяют полупроводниковые преобразователи частоты.

§ 68. Измерение тангенса угла потерь

Тангенс угла потерь (см. § 8) является одной из основных характеристик, определяющих качество конденсаторов.

Обычно тангенс угла потерь измеряют после испытания конденсаторов на электрическую прочность. Его предельно допустимые значения для каждого типа конденсаторов указывают в ГОСТах или ТУ. Измерение тангенса угла потерь конденсаторов (одновременно и емкости) производят в основном при помощи высоковольтных мостов переменного тока Р-5026, Р-507, кото-

рые предназначены для измерения емкости и тангенса угла потерь конденсаторов при напряжении до 10 кВ и частоте 50 Гц. Мост Р-507 (рис. 93) позволяет измерять емкости от 0,32 до 2800 мкФ с погрешностью, не превышающей $\pm 1\%$, и тангенс угла потерь от 0 до 10% с относительной погрешностью от 5 до 30%.



Рис. 93. Мост Р-507

Мост выполнен в виде передвижного пульта, в который встроены все элементы измерительной схемы. В пульт вмонтированы также элементы сигнализации, управления и блокировочные контакты силовой цепи испытательного трансформатора.

Размещают мост в кабине установки переменного тока вместе с автотрансформатором для регулировки напряжения испытательным трансформатором. Мост одновременно является пультом управления установки.

Измерение тангенса угла потерь и емкости конденсатора производят в такой последовательности. Испытуемый конденсатор устанавливают в кабину на изоляционную подставку и надежно подсоединяют к схеме. В

зависимости от испытательного напряжения в схему включают соответствующий образцовый конденсатор на панели левого отсека моста. Конденсатор Р-506 включают при испытательном напряжении до 1 кВ, а конденсатор Р-562 — при напряжении от 1 до 10 кВ.

В правом отсеке моста на коммутационной панели устанавливают переключки на необходимый предел измерения по току (5, 10, 20, 50, 100 и 200 А). Для этого

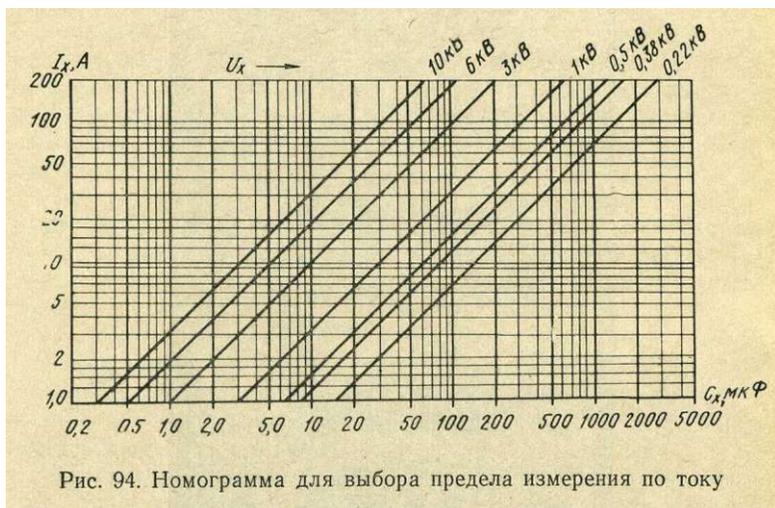


Рис. 94. Номограмма для выбора предела измерения по току

предварительно подсчитывают силу тока, А, который будет проходить по испытываемому конденсатору:

$$I_x = 0,314 U_x C_x$$

где U_x — испытательное напряжение, кВ; C_x — расчетная емкость испытываемого конденсатора, мкФ.

В зависимости от полученного значения I_x выбирают ближайший предел. Выбор нужного предела по току может быть произведен и по номограмме (рис. 94). Дверцы левого и правого отсеков и двери кабины, снабженные блокировкой, после переключений плотно закрывают. Переключатель рода работы ставят в положение «Ручное уравнивание», а выключатель записывающей части — в положение «Выключено». Переключатель пределов $AC_x\%$ переводят в положение X2, а шкалу реохорда — в нулевое положение. Переключа-

тель пределов измерения $tg\delta_x\%$ устанавливают в положение X1, а шкалу реохорда — в нулевое положение.

Рукоятки регулятора чувствительности вибрационного гальванометра и усилителя переводят в положение наименьшей чувствительности. Переключатель полярности гальванометра ставят в среднее положение, а переключатель освещения — в положение «127 В».

После выполнения указанных операций мост подготовлен к работе.

Включением выключателя с надписью «Индикатор» на вертикальной панели моста подают питание на цепи управления, гальванометр и усилитель. Загораются сигнальная лампочка над выключателем и зеленая сигнальная лампочка, а также появляется световое пятно на шкале гальванометра.

После прогрева усилителя (3—5 мин) переключатель полярности гальванометра устанавливают в одно из крайних положений и, нажав кнопку «Вкл», включают контактор, подающий напряжение сети на регулировочный автотрансформатор. При этом гаснет зеленая лампочка и загораются красные на вертикальной панели моста и над дверями кабины.

Нажатием на кнопку «Больше» поднимают напряжение до испытательного, наблюдая за показаниями амперметра и вольтметра. Показания амперметра $I_x\%$ при правильном выборе предела по току должны быть 20—100%. Установив требуемое значение испытательного напряжения, производят уравнивание моста. Постепенно увеличивая чувствительность гальванометра и усилителя вращением рукояток магазина сопротивлений Γ_3 и рукоятки $tg\delta_x\%$, размытие световой полосы гальванометра сводят до минимума.

После уравнивания моста подсчитывают тангенс угла потерь и емкость испытываемого конденсатора. Тангенс угла потерь определяют умножением величины $tg\delta_x\%$, отсчитанной по шкале реохорда, на множитель, полученный на шкале переключателя пределов. Емкость (мкФ) находят по формуле

$$C_x = C_0 \Gamma_3 I_{хн} * 10^6,$$

где C_0 — емкость образцового конденсатора, пФ.

По окончании измерений каждого конденсатора следует уменьшить чувствительность гальванометра и

усилителя до минимума, нажатием на кнопку «Меньше» снизить до нуля испытательное напряжение, а нажатием на кнопку «Выкл» отключить напряжение сети от установки (при этом гаснут красные лампочки и загорается зеленая). Если измерения прекращают вообще, отключают и выключатель вибрационного гальванометра-

Мост Р-5026 предназначен для измерения емкостей в пределах от 10 до 5×10^8 пФ с погрешностью измерения от 0,5 до 2,5% в зависимости от измеряемой емкости. Пределы измерения тангенса угла потерь составляют $1 \cdot 10^{-4} \div 1$ с погрешностью измерения от 1 до 10%. Устройство и правила обслуживания мостов приводятся в технических описаниях и инструкциях по эксплуатации.

При измерениях на мостах емкости и угла потерь необходимо обращать особое внимание на создание надежного контакта при подключении конденсатора. Сечение соединительных проводов выбирают в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации мостов.

При измерении угла потерь конденсаторов большой емкости в результаты измерения необходимо вносить поправку на потери в соединительных проводах

$$\Delta \operatorname{tg} \delta = 2 \pi f r C_x,$$

где $\Delta \operatorname{tg} \delta$ — погрешность, вносимая проводами и вычитаемая из результата измерения; f — частота тока, Гц; r — сопротивление проводов, Ом; C_x — емкость конденсатора, Ф.

При параллельном соединении двух конденсаторов общий $\operatorname{tg} \delta$ может быть определен из известного соотношения

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{C_1 \operatorname{tg} \delta_1 + C_2 \operatorname{tg} \delta_2}{C_1 + C_2},$$

где C_x и $\operatorname{tg} \delta_1$ — соответственно емкость и тангенс угла потерь первого конденсатора; C_2 и $\operatorname{tg} \delta_2$ — емкость и тангенс угла потерь второго конденсатора.

Эта формула позволяет измерением общего $\operatorname{tg} \delta$ при известных емкостях обоих конденсаторов и тангенса угла потерь одного из них определить тангенс угла потерь второго конденсатора. Таким способом определения

$\operatorname{tg} \delta$ часто пользуются, если емкость испытуемого конденсатора меньше нижнего предела измерения емкости моста.

Измерение на мостах требует строгого соблюдения правил техники безопасности, касающихся работ при высоких напряжениях.

§ 69. Измерение сопротивления изоляции

Сопротивление изоляций — это одна из основных качественных характеристик конденсаторов постоянного тока. Измерение сопротивления изоляции производят как между выводами конденсаторов, так и между выводами и корпусом. При измерении между выводами обычно определяют не абсолютную величину сопротивления изоляции, а постоянную времени конденсатора $R_{из}C$ (см. § 5).

Для измерения сопротивления изоляции конденсаторов применяют несколько методов: непосредственного отклонения, сравнения и саморазряда конденсатора. Кроме указанных методов используют также мостовые схемы и различные схемы с электронными лампами, выполняемые в виде отдельных приборов с градуированной шкалой и называемые мегомметрами, тераомметрами и т. п. Однако для измерения сопротивления изоляции силовых конденсаторов применяют главным образом метод саморазряда. Конденсатор заряжают от источника постоянного тока, затем отключают от него и выдерживают заданное время. Величину постоянной времени (Ом·Ф) находят по измерению напряжения на конденсаторе за время саморазряда согласно формуле

$$R_{из}C = \frac{\tau \lg e}{\lg U - \lg U_c},$$

где τ — время саморазряда, с; e — основание натуральных логарифмов ($e \approx 2,72$); U и U_c — соответственно начальное и конечное напряжения на конденсаторе, В.

Измерение напряжения на конденсаторе в процессе саморазряда производят электростатическими вольтметрами. В качестве источника тока используют высоковольтные установки постоянного тока. При этих измерениях необходимо принимать специальные меры

предосторожности, указанные в правилах техники безопасности.

Техническими требованиями на конденсаторы предусматривается измерение сопротивления изоляции как при нормальной, так и при повышенной температурах. Для измерения сопротивления при повышенных температурах конденсаторы предварительно разогревают до заданной температуры. Поверхности изолирующих дета-

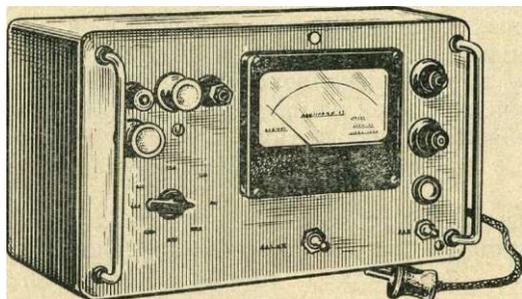


Рис. 95. Тераомметр Ф-57

лей конденсаторов, находящихся в воздухе, перед измерением сопротивления изоляции тщательно протирают, чтобы исключить погрешность из-за токов утечки по поверхности.

Из приборов для измерения сопротивления изоляции конденсаторов чаще всего используют тераомметр Ф-57 (рис. 95), позволяющий измерять сопротивления до 10^{14} Ом при напряжении постоянного тока 120 В. Измерительная схема тераомметра построена на принципе сравнения токов, проходящих через известное и измеряемое сопротивления при подаче на них напряжения 120 В. Сравнение токов производится путем сравнения напряжений на образцовых сопротивлениях известной величины, включаемых в цепь сравниваемых токов. Падение напряжения измеряют электронным вольтметром с большим входным сопротивлением. Подробные описания конструкции и правила пользования этими приборами приводятся в заводских инструкциях.

§ 70. Типовые и периодические испытания

Типовые и периодические испытания в отличие от приемо-сдаточных охватывают более широкий круг различного рода испытаний и проводятся с целью глубокого изучения характеристик конденсаторов и проверки их соответствия всем требованиям ГОСТа или ТУ.

Типовые испытания конденсаторов проводят после разработки конструкций и освоения технологии изготовления, а также при изменении конструкции, материалов или технологии изготовления, если эти изменения могут оказать влияние на качественные характеристики конденсаторов.

При отсутствии каких-либо изменений в процессе серийного изготовления конденсаторы периодически испытывают в сроки, оговоренные в ГОСТе или ТУ. Конденсаторы для проведения типовых и периодических испытаний берутся из числа выдержавших приемо-сдаточные испытания и принятых ОТК.

Типовые и периодические испытания обычно заключаются в проверке термической стабильности или срока службы, влагоустойчивости, проверке циклическим воздействием температуры, холодоустойчивости, в испытаниях на высотность, механических, на тропикостойкость и др.

Объем и методику проведения тех или иных испытаний устанавливают в зависимости от назначения, режима и условий работы конденсаторов.

Испытания на термическую стабильность проводят в течение 48 ч при повышенном напряжении и максимально допустимой температуре окружающей среды. Конденсаторы считаются стабильными, если тангенс угла потерь в течение последних 10 ч остается неизменным. В отдельных случаях о стабильности судят и по другим параметрам конденсаторов (емкости, сопротивлению изоляции, температуре диэлектрика и др.).

Для испытаний конденсаторы помещают в термостат с электрическим обогревом и двойными стенками с тепловой изоляцией между ними. Температура в термостате поддерживается на заданном уровне автоматически. Выравнивание температуры по объему термостата осуществляется вентилятором, перемешивающим воздух.

Испытания конденсаторов для повышения коэффициента мощности производят напряжением $1,2 U_n$ при температуре окружающей среды $45\text{—}55^\circ\text{C}$ в зависимости от категории размещения. При испытании конденсаторов повышенной частоты для электротермических установок испытательное напряжение при номинальной частоте должно быть таким, чтобы испытательная мощность составляла 130% номинальной. Для конденсаторов с водяным охлаждением температура входящей воды поддерживается $30\pm 2^\circ\text{C}$.

Конденсаторы постоянного тока, работающие в фильтровом режиме (ФМТ, ФМ), испытывают повышенным напряжением постоянного тока с наложением переменной составляющей определенного значения. Конденсаторы, работающие в импульсном режиме, подвергаются, как правило, испытанию на срок службы заряд — разрядными циклами. В зависимости от типа конденсаторов устанавливаются зарядное напряжение, сила и форма разрядного тока, количество и периодичность циклов. Конденсаторы должны выдержать заданное количество заряд — разрядных циклов без разрушения диэлектрика и изменения емкости.

Испытания на влаговстойчивость производятся выдержкой конденсаторов в камере влажности (гигростате) под номинальным напряжением или без напряжения при относительной влажности $95\pm 3\%$ и заданной температуре в течение обусловленного времени. После испытаний на поверхности конденсаторов не должно наблюдаться признаков повреждения (растрескивания или размягчения лакокрасочных или других покрытий, коррозии металлических деталей и т. д.) и нарушения герметичности. В отдельных случаях измеряются заданные параметры (тангенс угла потерь, сопротивление изоляции, емкость).

Камера влажности представляет собой термостат, над электронагревательными элементами которого расположена ванна с водой, предназначенная для создания в камере требуемой влажности. Относительную влажность измеряют психрометрами или волосяными гигрометрами.

Испытание циклическим воздействием температуры заключается в том, что конденсаторы в течение определенного времени выдерживают последовательно в камере холода, затем в камере тепла,

температура в которых заранее доведена до заданного значения. Время выдержки отсчитывается с момента установления в камерах требуемой режимом испытания температуры после загрузки конденсаторов. По окончании циклов конденсаторы выдерживают в нормальных условиях в течение времени, необходимого для приобретения ими по всему объему температуры окружающего воздуха. После испытаний проверяют герметичность конденсаторов.

Во время испытаний конденсаторов с избыточным давлением (СМР, ДМР и др.) измеряют давление внутри конденсатора, которое при предельной отрицательной температуре не должно быть ниже атмосферного, а при предельной положительной температуре превышать допустимых значений.

Проверка холодоустойчивости проводится в камерах холода. Конденсаторы помещают в камеру холода и выдерживают определенное время при заданной отрицательной температуре. По истечении времени испытания проверяют электрическую прочность, емкость и другие заданные параметры конденсаторов не вынимая их из камеры.

Испытаниям на влагов- и холодоустойчивость, а также циклическим воздействием температуры, как правило, подвергаются конденсаторы, предназначенные для наружных установок.

Испытание на высотность проводится приложением заданного напряжения к конденсаторам, помещенным в барокамеру, при пониженном испытательном давлении. Во время испытания не должно наблюдаться поверхностного разряда и пробоя конденсаторов.

Высотным испытаниям подвергаются конденсаторы, работающие при пониженном давлении.

Испытания на холодоустойчивость, температурными циклами и на высотность обычно проводят в термокамерах, которые позволяют получать в рабочей камере пониженное давление, а также отрицательные и положительные температуры. Камеры снабжают низковольтными и высоковольтными вводами для измерений и испытаний конденсаторов напряжением.

К механическим испытаниям относят испытания на вибропрочность, ударную прочность и испытания выводов конденсаторов на скручивание. Этим ис-

пытаниям обычно подлежат конденсаторы, которые в процессе эксплуатации подвержены вибрации и ударам.

Испытания на вибропрочность и ударную прочность проводят на специальных стендах (рис. 96). Конденсаторы закрепляют на платформе стенда и подвергают в течение заданного времени воздействию вибрации или ударной нагрузки с определенными частотой и амплиту-

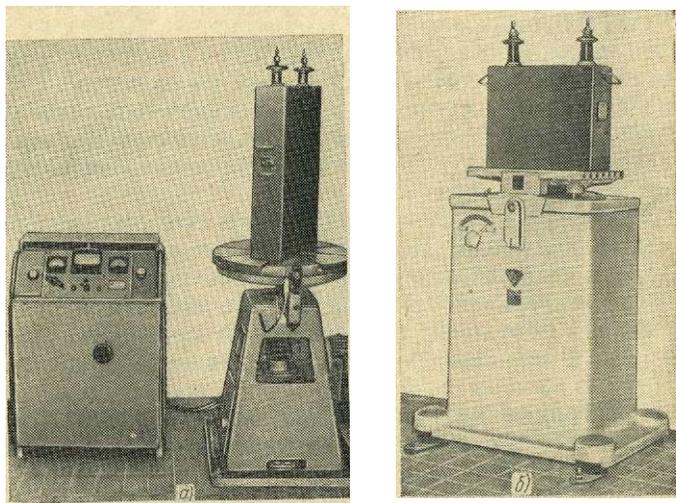


Рис. 96. Стенды для испытания конденсаторов:
а — на вибропрочность, б — на ударную прочность

дой колебаний. После испытаний не должно быть механических разрушений и повреждений, нарушения герметичности, изменения емкости и других заданных параметров.

Испытание выводов на скручивание производят приложением к резьбовым выводам конденсаторов на 10 с крутящего момента заданного значения. Конденсаторы крепят к неподвижной опоре за корпус, на выводы навертывают до упора гайки, к которым плавно прикладывают крутящий момент. В результате испытаний не должно быть механических повреждений выводов конденсаторов и нарушения их герметичности.

Испытания на тропикостойкость подвергают конденсаторы, предназначенные для работы в условиях тропического климата, отличающегося высоки-

ми влажностью и температурой. Кроме того, характерным для тропических условий является наличие большого количества спор, плесневых грибков и других микроорганизмов, которые, попадая на материалы, могущие служить для них питательной средой, и, быстро разрастаясь, вызывают сильное повреждение этих материалов. Вред могут наносить также различные насекомые (термиты) и грызуны. Поэтому к конденсаторам, предназначенным для стран с тропическим климатом, предъявляют особые требования в отношении герметичности и защиты их от коррозии, плесени и других воздействий. В частности, в лакокрасочные покрытия вводят фунгициды — вещества, ядовитые для плесневых грибков.

Тропикостойкость конденсаторов проверяют в камерах влажности при повышенных температурах. После испытаний не должно наблюдаться коррозии металлических частей, растрескивания, отслаивания или размягчения лакокрасочных покрытий, а также нарушения герметичности.

Типовые испытания, кроме того, могут включать измерения индуктивности и напряжения возникновения частичных разрядов конденсаторов. Так, например, при проведении типовых испытаний конденсаторов КСП, подвергающихся в условиях эксплуатации значительным перенапряжениям, предусматривается измерение напряжения возникновения частичных разрядов после воздействия напряжения различной величины и длительности приложения. После испытаний не должно быть снижения напряжения возникновения частичных разрядов.

Напряжение возникновения частичных разрядов измеряют с помощью специальных схем, содержащих испытательный трансформатор, резонансный контур с усилителем для выделения и усиления высокочастотных разрядов, а также осциллограф для наблюдения разрядов.

При типовых испытаниях конденсаторов с малой индуктивностью (ИК) предусматривается измерение собственной индуктивности конденсаторов. Индуктивность измеряют как осциллографированием и фотографированием кривой разрядного тока, так и определением резонансной частоты конденсатора при помощи генераторов стандартных сигналов (ГСС).

После определения резонансной частоты собственная индуктивность (Γ) конденсатора

$$f_c = 1/4\pi^2 f_0 C,$$

где f_0 — резонансная частота, Гц; C — емкость конденсатора, Ф. Если в процессе типовых испытаний будет установлено, что хотя бы один конденсатор не соответствует требованиям какого-либо пункта ГОСТа или ТУ, обычно подвергают испытанию удвоенное количество конденсаторов. Если же при повторных испытаниях хотя бы один конденсатор не будет соответствовать требованиям, производство конденсаторов прекращают до выявления и устранения причин брака. После этого типовые испытания проводят вновь.

§ 71. Оформление технической документации

При проведении приемо-сдаточных, типовых и периодических испытаний результаты испытаний каждого конденсатора прежде всего заносят в рабочий журнал, который является первичным документом и должен постоянно находиться на испытательной станции.

В рабочий журнал заносят следующие данные: дату проведения испытаний, номер и тип конденсатора, результаты испытаний, измерений и вычислений. При типовых и периодических испытаниях, кроме того, большое значение имеет подробное и отчетливое описание условий испытаний, подготовки и состояния образцов, описание применяемой аппаратуры и т. д. Результаты испытаний подписывают лица, проводившие испытания, и контрольный мастер, которые несут ответственность за правильность испытаний и достоверность полученных данных.

Данные, занесенные в рабочий журнал, используют для составления таких документов, как паспорт конденсатора (при приемо-сдаточных испытаниях), протокол типовых и периодических испытаний, ведомость дефектов на забракованные конденсаторы, а также для составления сводных ведомостей при анализе качества выпускаемых конденсаторов.

Паспорт составляется на конденсаторы, выдержавшие приемо-сдаточные испытания, и является документом, удостоверяющим соответствие качества конденсаторов требованиям ГОСТа или ТУ. Паспорт содержит но-

мер ГОСТа или ТУ, обозначение типа и номер конденсатора, его номинальные данные, сведения о результатах приемо-сдаточных испытаний, дату испытаний, подпись контрольного мастера и штамп ОТК-

Протокол типовых и периодических испытаний — это официальный технический документ, подтверждающий соответствие конденсаторов всем требованиям ГОСТа или ТУ. В протоколе указывают: дату проведения, объект и программу испытаний; методику испытаний, а также измерительную, испытательную и вспомогательную аппаратуру, погрешность измерения и расчетные данные; результаты испытаний, измерений и вычислений с приложением таблиц, графиков, фотографий, выводы. Протокол подписывают лица, проводившие испытания, и начальник испытательной станции.

Ведомость дефектов составляется на конденсаторы, забракованные при приемо-сдаточных испытаниях, и является сопроводительным документом при передаче дефектных конденсаторов на исправление. В ведомости указывают дату передачи конденсаторов на исправление, тип и номер конденсаторов, а также виды дефектов. Ведомость подписывает контрольный мастер испытательной станции.

При оформлении технической документации не допускаются исправления и пометки, записи должны быть четкими и ясными. Особенно тщательно следует заполнять бланки паспортов, которые направляют заказчику вместе с конденсаторами.

§ 72. Исправление дефектных конденсаторов

В процессе приемо-сдаточных испытаний часть конденсаторов бракуют как не соответствующие требованиям ГОСТа или ТУ. Все забракованные конденсаторы могут быть разбиты на две группы: с внешними дефектами и с внутренними дефектами.

К внешним дефектам конденсаторов относятся течи в местах уплотнений, сварки или пайки и механическое повреждение корпуса и изоляторов. Все конденсаторы с внешними дефектами подлежат исправлению.

К внутренним дефектам конденсаторов относятся пробой на корпус, пробой между обкладками, заниженная емкость, обрыв или короткое замыкание, завышенной тангенс угла потерь, высокий перегрев и вспучива-

ние корпусов при длительных испытаниях в результате возникновения критических частичных разрядов.

Конденсаторы с внутренними дефектами в свою очередь делятся на две группы: подлежащие исправлению и не подлежащие исправлению.

Во вторую группу входят конденсаторы с завышенным тангенсом угла потерь, высоким перегревом и вспученными корпусами. Эти конденсаторы не могут быть восстановлены и являются окончательным браком.

Исправление дефектных конденсаторов производится на специально выделенных участках, оборудованных необходимыми подъемно-транспортными устройствами, приспособлениями и измерительной аппаратурой. Конденсаторы на исправление подают по ведомости дефектов, составляемой на контрольно-испытательной станции, и подбирают по типам и виду дефектов.

Исправление конденсаторов с внешними дефектами не представляет трудностей. Течи конденсаторов в металлических корпусах устраняют подваркой или подпайкой. Конденсатор устанавливают так, чтобы место течи находилось вверху. Из конденсаторов с избыточным давлением предварительно сливают избыток пропитывающей жидкости. Подварку мест течи необходимо производить быстро во избежание сильного нагрева корпуса. При подпайке место течи защищают напильником или наждачным полотном до блеска металла и слегка смазывают раствором хлористого цинка. Затем место пайки хорошо прогревают паяльником и запаивают оловянно-свинцовым припоем. Течи в паяных швах устраняют только подпайкой.

Течи в местах уплотнения конденсаторов в фарфоровых корпусах устраняют дополнительной затяжкой болтов. Если после затяжки болтов течь не прекращается, заменяют резиновые прокладки. При устранении течи конденсаторов в бакелитовых корпусах необходимы разборка и повторная сборка крышки с корпусом. При механическом повреждении изоляторы заменяют.

Исправление конденсаторов с внутренними дефектами связано с их вскрытием и извлечением выемной части из корпуса. Наибольшую сложность представляет вскрытие конденсаторов в металлических корпусах, имеющих сварное соединение крышки с корпусом. При вскрытии таких конденсаторов срезают

крышку по сварному шву, что позволяет использовать корпуса для повторной сборки конденсаторов. Конденсаторы вскрывают на фрезерных станках или электрическими ножницами, которые применяют при толщине металла корпусов до 1,5 мм.

Перед вскрытием конденсаторов с пропиткой хлорированными дифенилами предварительно сливают жидкость. Для этого у конденсаторов отпаивают пробки заливочных отверстий. После разъединения крышки с корпусом отпаивают отводы выемной части от выводов изоляторов, удаляют верхние изоляционные прокладки, из бумажно-масляных конденсаторов сливают масло и извлекают выемную часть из корпуса на рабочий стол для выявления дефектов. Если выемная часть состоит из нескольких пакетов, ее расчленяют на отдельные пакеты. Для сбора пропитывающей жидкости из дефектных конденсаторов используют противень, сообщающийся трубопроводом с отстойниками очистительной станции.

В конденсаторах с пробоем на корпус места пробоя обнаруживают внешним осмотром. Наиболее вероятными местами пробоя на корпус могут быть:

пробой или перекрытие по поверхности нижней части изоляторов при их загрязнении или недостаточном уровне пропитывающей жидкости в конденсаторе;

пробой или перекрытие с отвода пакета на крышку корпуса вследствие сокращения расстояния между ними из-за неправильной укладки отводов при сборке или вследствие повреждения изоляции отвода;

пробой по телу изолятора с вывода на крышку при некачественном фарфоре;

пробой корпусной изоляции из-за ее недостаточной толщины или механических повреждений (на сгибах);

пробой с торцов секций на корпус при отсутствии изоляционных прокладок между дном корпуса и пакетом или при неправильной укладке корпусной изоляции в результате небрежной сборки;

повреждение (выгорание) корпусной изоляции вследствие пробоя секций между обкладками при выходе очага пробоя наружу;

электрические разряды между скрепляющими выемную часть металлическими деталями (щеками, хомутами и др.) и корпусом при отсутствии контакта между ними.

Осмотр для выявления мест пробоя на корпус по первым трем пунктам необходимо проводить непосредственно после разъединения крышки с корпусом до отпайки выемной части от выводов изоляторов. Места пробоя или перекрытия легко находят по следам сажи и электрической дуги. Обнаруживают также возможные обрывы между отводами выемной части и выводами изоляторов.

В конденсаторах с пробоем секций между обкладками, с заниженной или завышенной емкостью, обрывом цепи или коротким замыканием дефекты выявляют как внешним осмотром, так и электрическими испытаниями отдельных пакетов. Внешним осмотром находят видимые дефекты, такие, как наружные очаги пробоя секций, обрывы или перегорания секционных предохранителей, распайки и неправильную пайку схемы.

Электрическими испытаниями выявляют скрытые дефекты, к которым относятся внутренние пробои в секциях, обрывы и короткие замыкания обкладок, заниженная или завышенная емкость секций, распайки и обрывы в схеме соединения.

Поскольку в выемных частях конденсаторов одновременно могут быть и видимые, и невидимые дефекты, электрические испытания необходимо проводить вне зависимости от обнаружения видимых дефектов. Электрические испытания состоят из проверки пакетов на короткое замыкание и измерения емкости.

Проверкой на короткое замыкание определяют поврежденные секции с пробоем диэлектрика и замыканием обкладок, а также обрывы или распайки схемы соединения. Для этой проверки применяют специальные приборы, позволяющие получить на выходе выпрямленное напряжение 220—250 В. В качестве индикатора в приборе используется неоновая трубка. Напряжение от прибора к конденсатору подается при помощи испытательных наконечников с изолированными рукоятками.

После проверки прибором на конденсаторах остается электрический заряд. Во избежание поражения электрическим током при соприкосновении конденсатор следует тотчас же после проверки разрядить на сопротивление.

В пакетах с последовательным соединением секций дефекты выявляют поочередным подключением прибо-

ра к токоподводам каждой секции. На обнаруженных дефектных секциях делают пометки.

В пакетах с последовательно-параллельным соединением всех секций вначале выявляют поврежденную группу, затем распаиванием токоподводов с одной стороны разъединяют секции и поочередной проверкой каждой из них выявляют поврежденные.

В пакетах с параллельным соединением всех секций вначале отпаивают токоподводы от общей шины с одной стороны, а затем поочередной проверкой находят поврежденные секции. При наличии секционных предохранителей проверяют на короткое замыкание пакет в целом. Если обнаружено короткое замыкание, для выявления дефектных секций их отделяют от общей шины со стороны предохранителей. В пакетах с предохранителями может происходить не только перегорание предохранителей из-за пробоя секций, но и их механическое повреждение от воздействия электродинамических усилий в момент разряда конденсатора накоротко. При механических повреждениях предохранителей секции не повреждаются, поэтому надо проверять секции как с перегоревшими, так и с механически поврежденными предохранителями для выявления годных секций.

Измерением емкости обнаруживают секции или группы секций с заниженной и завышенной емкостью. Емкость определяют после того, как обнаружены все другие дефекты в пакете. Выявление дефектных секций осуществляется в том же порядке, что и определение дефектов проверкой на короткое замыкание.

Конденсаторы с внутренними дефектами исправляют только после тщательного выявления всех дефектов. В зависимости от вида дефектов конденсаторы исправляют с распрессовкой пакетов или без нее.

Без распрессовки пакетов устраняют повреждения, связанные с пробоем изоляторов, перекрытием по изолятору и с отводом на крышку, с обрывом и распайкой схемы соединения, а также другие дефекты, не относящиеся к повреждениям секций и корпусной изоляции. В этом случае устраняют обрывы и распайки в схеме соединения, затем пакет промывают чистой пропитывающей жидкостью, чтобы удалить сажу и другие загрязнения, замеряют его емкость и при нормальной емкости вставляют в корпус. Если выемная часть состоит из

Нескольких пакетов, перед установкой в корпус производится ее сборка.

Распрессовка пакетов выполняется при исправлении конденсаторов с завышенной или заниженной емкостью, с поврежденными секциями и корпусной изоляцией и вызвана необходимостью замены поврежденных деталей исправными. Для распрессовки пакетов применяют ручные винтовые или пневматические горизонтальные прессы. Поврежденные детали заменяют в следующем порядке:

пакет укладывают на стол прессы и сжимают так, чтобы можно было снять стяжные хомуты,

после снятия хомутов запрессовку секций ослабляют, осторожно отделяют и вынимают дефектные секции и на их место укладывают заранее подготовленные однотипные исправные секции, взятые из других поврежденных пакетов. При повреждении корпусной изоляции ее также заменяют на столе прессы. Заменять поврежденные детали следует быстро, не допускать разбухания секций и попадания в них воздуха.

Во вновь запрессованном пакете измерением емкости проверяют исправность секций и перепайвают их токоподводы по рабочей схеме. Затем пакет промывают пропитывающей жидкостью, вставляют в корпус (если не требуется предварительная сборка выемной части). Сверху пакета укладывают изоляционные прокладки и на корпус устанавливают крышку. Каждому исправленному конденсатору присваивают порядковый номер.

Перемонтированные конденсаторы передают для последующей приварки крышки, припайки изоляторов и вакуумной обработки.

Для предохранения от увлажнения пакеты конденсаторов непосредственно после установки в корпус передают на сварку и до вакуумной обработки герметизируют пробками.

Во избежание ухудшения качества конденсаторов исправлять их следует в чистом сухом помещении. Особую чистоту необходимо соблюдать при исправлении выемной части. Вскрытые конденсаторы должны находиться как можно меньше на воздухе и особенно без пропитывающей жидкости. При перепайке схемы пакетов бумажно-масляных конденсаторов в качестве флюса применяют только канифоль. Перепайка схемы конденсаторов, пропитанных хлорированными дифени-

лами, должна производиться без применения флюсов. В этом случае можно использовать водный раствор хлористого цинка лишь для очистки паяльника от нагара.

Термовакuumной обработке подвергают все конденсаторы, в процессе исправления которых выемная часть (пакет) извлекалась из корпуса даже на непродолжительное время. Термовакuumная обработка предназначена для удаления из диэлектрика конденсаторов воздушных включений и влаги, которые могли проникнуть в него в процессе выявления и устранения дефектов. Надежность работы отремонтированных конденсаторов в значительной степени зависит от того, насколько правильно проведена вакуумная обработка. Влияние процесса вакуумной обработки на электрические характеристики конденсаторов см. в § 55.

Термовакuumная обработка конденсаторов после исправления производится на тех же установках, которые применяют для вакуумной сушки и пропитки конденсаторов. Перед загрузкой в шкафы у конденсаторов снимают пробки с заливочных отверстий. После загрузки конденсаторы разогревают до 80—90° С с постепенным снижением давления от атмосферного до 1—0,1 Па. Время разогрева ориентировочно составляет 20 ч. Затем конденсаторы выдерживают при остаточном давлении не более 1 Па в течение 24—30 ч и производят их заливку и пропитку. Конденсаторы, прошедшие вакуумную обработку, герметизируют и в обычном порядке передают на испытание.

Контрольные вопросы

1. В каких документах указываются требования, предъявляемые к конденсаторам?
2. Как проверяют конденсаторы на герметичность?
3. Как измеряют и определяют емкость трехфазных конденсаторов?
4. Что необходимо знать при измерении малых емкостей?
5. Для чего производят испытания конденсаторов повышенным напряжением?
6. Как обнаруживают пробой изоляции конденсатора при испытании повышенным напряжением?
7. Каковы принцип действия, устройство и правила обслуживания испытательных установок переменного тока?
8. С какой целью используют дроссели при испытании конденсаторов?

9. Каковы принцип действия, устройство и правила обслуживания испытательных установок постоянного тока?
10. Расскажите о принципе действия, устройстве и правилах обслуживания испытательных установок повышенной частоты.
11. Каковы принцип действия, устройство и правила обслуживания моста Р-507?
12. Для чего необходимо надежное подключение выводов конденсатора к мосту при измерении тангенса угла потерь?
13. Как измеряют сопротивление изоляции методом саморазряда?
14. Зачем надо закорачивать выводы конденсатора непосредственно после испытания напряжением?
15. Каков порядок исправления дефектных конденсаторов?

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Дроздов Н. Г., Никулин Н. В. Электроматериаловедение.— М.: Высшая школа, 1973.
- Касаткин А. С. Электротехника.— М.: Высшая школа, 1973.
- Корицкий Ю. В. Электротехнические материалы.— М.: Энергия, 1976.
- Кучинский Г. С. Высоковольтные импульсные конденсаторы.— М.: Энергия, 1973.
- Кучинский Г. С. и др. Силовые электрические конденсаторы.— М.: Энергия, 1975.
- Никулин Н. В. Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям.— М.: Высшая школа, 1976.
- Правила устройства электроустановок.— М.: Энергия, 1965.
- Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности электроустановок потребителей.— М.: Атомиздат, 1975.
- Ренне В. Т. Электрические конденсаторы.— М.: Энергия, 1969.
- Ренне В. Т., Багалея Ю. В., Фридберг И. Д. Расчет и конструирование конденсаторов.— Киев: Техника, 1971.
- Ренне В. Т. Пленочные конденсаторы с органическим диэлектриком.— М.: Энергия, 1973.
- Сборник действующих правил техники безопасности в электротехнической промышленности.— М.: Энергия, 1974.
- Тареев Б. М. Физика диэлектрических материалов.— М.: Энергия, 1973.

Предисловие	3
Глава I. Общие сведения об электрических конденсаторах	5
§ 1. Краткий обзор истории конденсаторостроения	5
§ 2. Основные области применения конденсаторов	6
§ 3. Электрическое поле	7
§ 4. Электрическая емкость. Понятие о поляризации	9
§ 5. Сопротивление изоляции конденсаторов	13
§ 6. Конденсаторы в цепи постоянного тока	14
§ 7. Конденсаторы в цепи переменного тока	17
§ 8. Потери энергии и тангенс угла потерь конденсатора	24
§ 9. Общие сведения о пробе диэлектриков. Электрическая прочность конденсатора	26
§ 10. Удельные и тепловые характеристики	30
Глава II. Материалы, применяемые в силовом конденсаторостроении	32
§ 11. Общие сведения об электротехнических материалах	32
§ 12. Проводниковые материалы	33
§ 13. Электроизоляционные материалы	36
§ 14. Припой и флюсы	46
Глава III. Конструкции и области применения силовых конденсаторов	49
§ 15. Элементы конструкции и режимы работы силовых конденсаторов	49
§ 16. Конденсаторы для повышения коэффициента мощности. Конденсаторные установки	53
§ 17. Конденсаторы для продольной компенсации реактивного сопротивления линий электропередачи	58
§ 18. Конденсаторы повышенной частоты для электротермических установок	59
§ 19. Конденсаторы для емкостной связи, отбора мощности и делителей напряжения	62
§ 20. Конденсаторы для линий электропередачи постоянного тока	66

§ 21. Конденсаторы фильтровые и для тиристорных преобразователей	67
§ 22. Импульсные конденсаторы	70
§ 23. Специальные конденсаторы и устройства	76
§ 24. Краткие сведения по расчету конденсаторов	79
Глава IV. Изготовление пакетов конденсаторов	85
§ 25. Намоточные станки	85
§ 26. Технология намотки секций	88
§ 27. Сборка и запрессовка секций в пакеты	98
§ 28. Электрические испытания пакетов	107
§ 29. Пайка схемы пакетов	109
§ 30. Гигиена при изготовлении пакетов конденсаторов	119
Глава V. Армирование изоляторов и изготовление выводов	121
§ 31. Назначение и способы армирования изоляторов	121
§ 32. Армирование металлизированных изоляторов	123
§ 33. Изготовление малоиндуктивных выводов	126
§ 34. Проверка герметичности армированных изоляторов и выводов	128
Глава VI. Сборка конденсаторов	129
§ 35. Сборка и установка в корпус выемной части	129
§ 36. Припайка изоляторов. Соединение отводов выемной части с выводами конденсаторов	131
§ 37. Приварка крышек к корпусу	133
§ 38. Проверка герметичности сварных и паяных швов	136
Глава VII. Вакуумная сушка и пропитка конденсаторов	139
§ 39. Газы и пар. Понятие о вакууме	139
§ 40. Влажность материалов. Способы сушки	141
§ 41. Назначение вакуумной сушки и пропитки конденсаторов	147
§ 42. Установки для термовакuumной сушки и пропитки конденсаторов	148
§ 43. Термовакuumный шкаф	151
§ 44. Газобалластный вакуумный насос ВН-6Г	153
§ 45. Двухроторные вакуумные насосы	159
§ 46. Бустерные насосы	162
§ 47. Конденсаторы влаги и паров пропитывающей жидкости	166
§ 48. Регулирующая аппаратура	170
§ 49. Контрольно-измерительные приборы	171
§ 50. Подготовка установки для сушки и пропитки конденсаторов	174
§ 51. Загрузка конденсаторов в шкафы	177
§ 52. Вакуумная сушка конденсаторов	180
§ 53. Заливка и пропитка конденсаторов	190
§ 54. Сборка и герметизация конденсаторов после пропитки	194
§ 55. Влияние процесса сушки и пропитки на электрические характеристики и срок службы конденсаторов	203

	Стр.
Глава VIII. Приготовление пропитывающих жидкостей	209
§ 56. Необходимость дополнительной очистки пропитывающих жидкостей	209
§ 57. Методы очистки пропитывающих жидкостей	210
§ 58. Оборудование, применяемое для приготовления пропитывающих жидкостей	216
§ 59. Технология приготовления пропитывающих жидкостей	224
§ 60. Испытания пропитывающих жидкостей	228
Глава IX. Испытания силовых конденсаторов	235
§ 61. Государственные стандарты и технические условия на изготовление и поставку конденсаторов	235
§ 62. Испытания конденсаторов на герметичность	237
§ 63. Измерение емкости	238
§ 64. Испытания конденсаторов повышенным напряжением	240
§ 65. Испытательные установки переменного тока промышленной частоты	244
§ 66. Испытательные установки постоянного тока	251
§ 67. Установки переменного тока повышенной частоты	256
§ 68. Измерение тангенса угла потерь	260
§ 69. Измерение сопротивления изоляции	265
§ 70. Типовые и периодические испытания	267
§ 71. Оформление технической документации	272
§ 72. Исправление дефектных конденсаторов	273
Литература	281

**Антон Иванович Гулевич,
Алексей Петрович Киреев**

ПРОИЗВОДСТВО СИЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Редактор М. В. Золоева. Художник А. И. Шавард.
Художественный редактор Т. В. Панина. Технический редактор Л. А. Григорчук. Корректор Г. А. Чечеткина

ИБ № 2761

ЭГ-375. Сдано в набор 17.09.80. Поди, в печать 30.03.81.
Т-06537. Формат 84X108/32. Бум. тип. №2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 15,12 усл. печ. л. 15,22 усл. кр.-отг. 14,63 уч.-изд. л. Тираж 15000 экз. Зак. 1115. Цена 50 коп.
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14. Издательство
«Высшая школа»
Московская типография № 8 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Хохловский пер., 7.

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА»
ВЫПУСТИТ В СВЕТ В 1981 г.
ДЛЯ УЧАЩИХСЯ, А ТАКЖЕ ДЛЯ
МАСТЕРОВ И ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ
ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ
УЧИЛИЩ СЛЕДУЮЩИЕ УЧЕБНИКИ
И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ:**

Евланов Ю. Н. Современные цифровые вольтметры: Учеб. пособие. – 3 л., ил. – 15 к.

Изложены назначение, основные технические характеристики и принципы построения применяемых в настоящее время цифровых вольтметров, дано краткое описание основных функциональных узлов.

Особое внимание уделено цифровым интегрирующим вольтметрам (ЦИВ) и мультиметрам на основе ЦИВ.

Для преподавателей и мастеров профессионально-технических учебных заведений.

Зеличенко А. С., Смирнов Б. И. Устройство и ремонт воздушных линий электропередачи: Учебник – 4-е изд., перераб. и доп. – 18 л., ил. – В пер.: 65 к.

Приведено описание устройства отдельных элементов воздушных линий электропередачи, передовых методов организации ремонтных работ.

В четвертом издании (3-е – в 1976 г.) отражены изменения в конструкциях линий электропередачи, происшедшие с момента выхода третьего издания.

Особое внимание уделено линиям сверхвысокого напряжения (400, 500 и 750 кВ).

Для средних профессионально-технических училищ электроэнергетического профиля. Книга может быть использована также при подготовке рабочих на производстве.

Иноземцев Е. К. Ремонт генераторов, синхронных компенсаторов и электродвигателей: Учеб. – 14 л., ил. – 45 к.

Рассмотрена конструкция гидро- и турбогенераторов, синхронных компенсаторов и мощных высоковольтных электродвигателей, установленных на электростанциях и подстанциях.

Изложены характерные повреждения гидро- и турбогенераторов мощностью до 800 000 кВт, синхронных компенсаторов до 160 000 кВ А и высоковольтных электродвигателей до 12 000 кВт.

Описана реконструкция частей мощных электрических машин, выполненная с целью повышения надежности, улучшения технико-экономических показателей и т. п.

Для учащихся средних профтехучилищ электроэнергетического профиля. Книга может быть использована также при подготовке рабочих на производстве.

Кожевников Н. Н. Механическое оборудование гидроэлектростанций: Учеб. пособие. – 22 л., ил. – В пер.: 65 к.

Изложены вопросы использования водной энергии, основные понятия о процессах, протекающих в гидротурбинах.

Основное внимание уделено вопросам эксплуатации и режимам работы гидротурбинного оборудования.

Для подготовки на производстве машинистов гидроагрегатов.

Одинокое В. В. Шлюзовые системы в вакуумном оборудовании: Учеб. пособие. – 3 л., ил. – 15 к.

Рассмотрены шлюзовые системы, применяемые в различном вакуумном оборудовании, объяснена сущность и цели процессов шлюзования, дан краткий анализ достоинств и недостатков шлюзовых систем.

Приведено описание конструктивных схем и сравнительные характеристики шлюзовых систем.

Даны основы расчета шлюзовых систем.

Для преподавателей и мастеров профессионально-технических учебных заведений.

Трошин В. И. Современные вычислительные системы: Учеб. пособие, – 5 л., ил. – 20 к.

Рассмотрены общие принципы построения и эксплуатации современных вычислительных систем на примере ЭВМ серии ЕС и операционной системы СС–ЕС. Описана обработка данных, подготовка их на магнитной ленте и работа с дисплеем.

Для преподавателей и мастеров профессионально-технических учебных заведений.

Уважаемые читатели!

Издательство «Вышая школа» выпускает учебники, учебные и методические пособия, плакаты. Подробнее познакомиться с учебной литературой вам поможет аннотированный план выпуска литературы на 1981 год (профтехобразование), который имеется в книжных магазинах.

Предварительные заявки на книги вы можете сделать в магазинах Книготорга или потребительской кооперации.