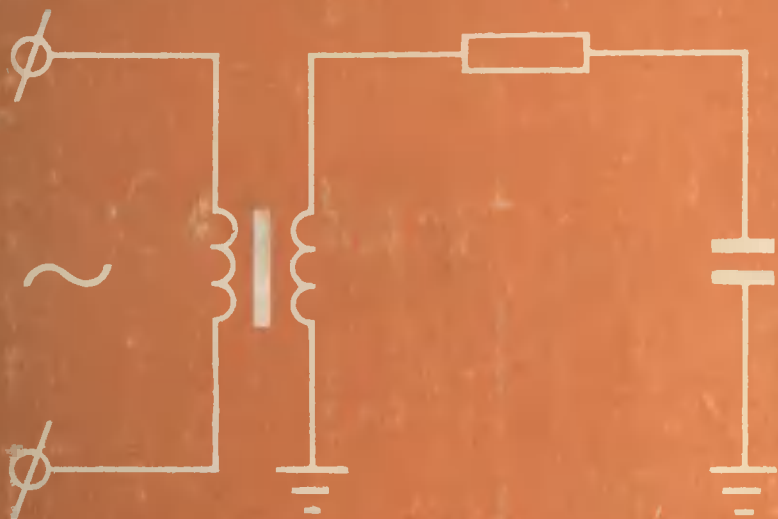


Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА



С.А. БАЖАНОВ

ИСПЫТАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

✓
С.1358191

~~30~~



6П2.108
Б161

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 261

С. А. БАЖАНОВ

ИСПЫТАНИЯ
ОБОРУДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 196В

6П2.11

Б 16

УДК 621.312.001.4:621.311.42(04)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Долгов А. Н., Ежков В. В., Каминский Е. А.,
Мандрыкин С. А., Сильчугов Ф. И., Смирнов А. Д., Устинов П. И.

Бажанов С. А.

Б 16 Испытания оборудования электроустановок. М.,
«Энергия», 1968.

72 с. с илл. (Б-ка электромонтера. Вып. 261).

В брошюре содержатся сведения об особенностях испытания обо-
рудования высокого напряжения в процессе их монтажа и наладки.
Приведены принципиальные схемы измерения и даны пояснения ряда
физических процессов, протекающих при испытаниях.

Брошюра предназначена для квалифицированных электромонте-
ров и электротехников, специализирующихся в области испытаний
электрооборудования (измерительные трансформаторы, масляные вы-
ключатели, разьеднители, конденсаторы, вводы, ползесные и опор-
ные изоляторы).

3-3-9

105-68

6П2.11

C. 1358191

БАЖАНОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Испытания оборудования электроустановок

Редактор Г. Г. Родин

Техн. редактор Т. Н. Царева

Сдано в набор 31/II 1968 г.

Подписано к печати 13/VI 1968 г.

T-08388

Формат 84×108¹/₃₂

Бумага типографская № 2

Усл. печ. л. 3,78

Уч.-изд. л. 3,77

Тираж 10 000 экз.

Цена 13 коп.

Зак. 1125

Издательство «Энергия». Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитет по печати при Совете Министров СССР

Публичная библиотека

им. В.Г. Белинского
г. Свердловск

ВВЕДЕНИЕ

В связи с интенсивным развитием энергетики, вводом в действие новых мощных электростанций и линий электропередачи существенно вырос объем профилактических испытаний электрооборудования.

Требование повышенной эксплуатационной надежности электрооборудования во многом определяется качеством проведенных профилактических испытаний.

Для правильного проведения испытаний электрооборудования, возможности технически грамотной оценки результатов измерения и состояния аппарата, исключения возможных погрешностей, вносимых в результаты измерения, необходимо иметь четкое представление не только о конструктивных особенностях испытуемого объекта, но и разбираться в физических процессах, протекающих при испытаниях. Поэтому в брошюре приведены рекомендуемые схемы измерения, указаны причины, вносящие ошибки в результаты отсчета, рассмотрены физические процессы, протекающие в изоляции при приложении к ней испытательного напряжения, дано описание конструктивных особенностей испытуемых объектов.

Существенное внимание уделено испытанию широко применяемого электрооборудования (масляные выключатели, измерительные трансформаторы, разъединители, конденсаторы, вводы и изоляторы).

Ограниченный объем брошюры не дает возможности осветить ряд вопросов, связанных с применением некоторых схем измерения (измерение коэффициента трансформации, тока и потерь холостого хода трансформаторов, сопротивления обмоток постоянному току и т. п.).

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Высоковольтные испытания изоляции электрооборудования должны выполняться с учетом следующих положений:

1. Проведению испытаний должен предшествовать тщательный наружный осмотр испытываемого объекта. Если в результате осмотра будут обнаружены дефекты, которые могут вызвать повреждение оборудования или испытательной аппаратуры, разрешается производить испытания лишь после устранения этих дефектов.

2. Измерение характеристики изоляции объектов должно производиться при температуре изоляции не ниже 5°C , а в эксплуатации — желательнее при одинаковых температурах и по однотипным схемам измерения.

3. Перед проведением измерения сопротивления изоляции или диэлектрических потерь наружная поверхность фарфоровых покрышек испытываемого объекта должна быть очищена от пыли и грязи и приняты меры к устранению поверхностных токов утечки.

В случае большой влажности окружающего воздуха или при условиях, приводящих к отпотеванию наружной поверхности покрышек при измерении диэлектрических потерь и сопротивления изоляции, допускается применять охранные кольца.

Во избежание искажения результатов измерения все посторонние предметы, находящиеся в пределах электрического поля испытываемого объекта, должны быть удалены от него не менее чем на 1 м.

4. Испытание высоковольтной изоляции должно производиться в условиях, в наибольшей степени воспроизводящих электрическое поле в эксплуатации. Для этого необходимо:

подавать испытательное напряжение на тот электрод объекта, который и в эксплуатации находится под напряжением;

не допускать приближения посторонних предметов, искажающих электрическое поле испытываемого объекта.

5. Как правило, электроды, к которым прикладывается напряжение, должны быть металлическими частями (элементами), прилегающими к изоляции.

Допускается приложение испытательного напряжения при помощи накладного электрода, однако:

должно быть установлено, что в этом случае распределение напряжения по изоляции не будет существенно отличаться от рабочего и при этом не окажется неиспытанных участков изоляции;

измеренные токи могут в большей мере характеризовать поверхностные токи, а не объемные.

При испытании изоляции по частям величину испытательного напряжения обычно увеличивают на 10—20%.

6. Во время испытаний должно производиться непрерывное наблюдение с безопасного расстояния за состоянием объекта.

В отдельных случаях, когда поведение изоляции под напряжением при внешнем освещении выяснить затруднительно, следует производить испытание в темноте.

7. После снятия испытательного напряжения и заземления объекта изоляторы из органических диэлектриков нужно ощупать, с тем чтобы убедиться в отсутствии местных нагревов.

8. Изоляция считается выдержавшей испытание, если:

не произошло пробоя или перекрытия изоляции;

не было отмечено частичных нарушений изоляции, выявленных по показаниям приборов (амперметры первичной цепи испытательной установки, вольтметры и т. п.) или наблюдением (разряды в баке, выделение газа или дыма, сильные скользящие разряды по поверхности и т. п.);

не было отмечено местного нагрева изоляции;

ток утечки или пересчитанное значение его — сопротивление изоляции, коэффициент абсорбции, величина асимметрии токов по фазам (обмоткам) или величина диэлектрических потерь — не превосходят установленных величин.

9. Испытание изоляции одного и того же объекта должно проводиться по возможности при одинаковых температурах и при однотипных схемах измерения. При сопоставлении результатов измерения следует учитывать зависимость полученных значений от температуры, при которой производилось измерение.

10. Температура изоляции при испытаниях определяется по температуре окружающего воздуха, если

испытаниям не предшествовал прогрев оборудования.

Температуру изоляции предварительно прогретого оборудования следует определять в нескольких точках непосредственным измерением с помощью термометра, термопар или термосопротивлений или косвенно — по омическому сопротивлению обмоток.

11. Перед вводом в эксплуатацию проверяется качество подсоединения оборудования к заземляющему контуру. Проверка производится с помощью омметра или визуально (если видна вся заземляющая шинка от аппарата до контура).

12. Для обеспечения безопасности персонала и целостности оборудования при производстве испытаний минимальные изоляционные расстояния по воздуху между элементами испытательной установки и заземленными и токоведущими частями распределительного устройства, находящимися под рабочим напряжением, должны быть не менее приведенных в соответствующих разделах правил техники безопасности.

13. Необходимая безопасность при проведении испытаний достигается:

соблюдением правил техники безопасности при работах в установках высокого напряжения;

надежным подсоединением к земле всех подлежащих заземлению точек испытательной схемы;

надежным ограждением всех частей испытательной установки и испытываемого оборудования, на которое подается высокое напряжение;

правильной расстановкой людей, проводящих испытания, с целью недопущения приближения посторонних лиц к частям, находящимся под испытательным напряжением;

установкой рубильника в цепи питания испытательной установки, позволяющего в случае необходимости быстро снять испытательное напряжение;

созданием в цепи питания испытательной установки видимого разрыва;

наложением заземления на высоковольтный вывод испытательного трансформатора на время сборки схемы и производства пересоединений.

14. Оформление результатов испытаний и измерений производится в специальных журналах немедленно после снятия показаний приборов. Запись должна содержать дату и время измерения; паспортные данные

испытываемого оборудования; результаты измерений и испытаний; данные о температуре изоляции, окружающей температуре и влажности воздуха; результаты внешнего осмотра оборудования; заключение о годности испытанного оборудования.

На основании записей в журналах составляются протоколы испытаний.

Полный комплекс испытаний изоляции электрооборудования включает измерение сопротивления изоляции; измерение диэлектрических потерь; испытание повышенным выпрямленным напряжением; испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

2. ИСПЫТАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Выше были рассмотрены основные положения по проведению испытаний электрооборудования. Однако конструктивные особенности выполнения аппаратов, различное их назначение, применение различного рода диэлектриков в качестве изоляции и другие факторы накладывают определенный отпечаток на методику проведения испытаний.

Особенности проведения испытания различного рода аппаратуры высокого напряжения рассматриваются ниже.

Трансформаторы тока. В настоящее время отечественная электротехническая промышленность для электроустройств напряжением 6 кВ и выше выпускает трансформаторы тока со следующим исполнением внутренней изоляции:

фарфоровая (трансформаторы тока типов ТПОФ, ТПШФ, ТПФ и др.);

эпоксидная (трансформаторы тока типов ТПОЛ, ТПШЛ, ТШЛ и др.);

бумажно-масляная (трансформаторы тока типа ТФН);

бумажно-масляная конденсаторная (трансформаторы тока типа ТФКН).

В объем испытаний изоляции сухих трансформаторов тока обычно входят измерение сопротивления изоляции и испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

Объем испытаний изоляции маслонаполненных трансформаторов тока обычно дополняется измерением диэлектрических потерь и определением состояния трансформаторного масла.

При внешнем осмотре трансформаторов обычно проверяют состояние и целостность фарфора или иного твердого диэлектрика; наличие необходимой арматуры и ее исправность; состояние выводов первичных и вторичных обмоток; затяжку всех контактных соединений; отсутствие вмятин на корпусе трансформатора и т. п.

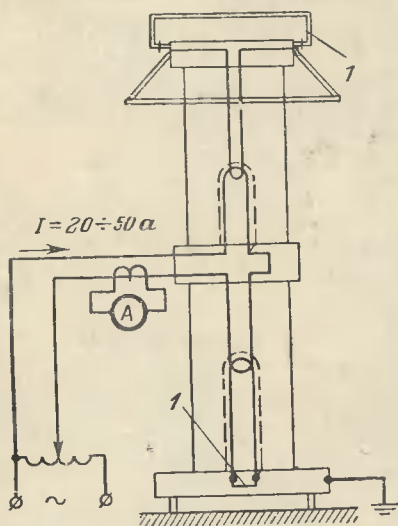


Рис. 1. Схема прогрева изоляции каскадного трансформатора тока.

I — переключатель.

У маслонаполненных измерительных трансформаторов, кроме того, проверяют уровень масла, отсутствие следов его течи; положение вентиля на трубопроводах, соединяющих между собой ступени каскадных трансформаторов тока; состояние силикагелевого фильтра (у трансформаторов тока типа ТФКН). Оценку состояния изоляции маслонаполненных трансформаторов тока рекомендуется производить при температуре окружающего воздуха выше 0°C .

В тех случаях, когда измерение характеристик изоляции трансформаторов тока типа ТФН производится при отрицательных температурах, необходим искусственный прогрев их обмоток.

Прогрев осуществляется с помощью тепловоздуховок или методом потерь в обмотках (рис. 1) с сооружением вокруг трансформатора тока временных «тепляков».

При достижении температуры изоляции не ниже 5°C и равномерного выравнивания ее по всему объему твердой и жидкой изоляции прогрев испытуемого трансформатора тока прекращается.

Измерение сопротивления изоляции первичных обмоток трансформаторов тока обычно производится мегомметром на 2500 в. Величина сопротивления изоляции не нормируется. Обычно для хорошей изоляции она составляет несколько тысяч мегом.

Для измерения сопротивления изоляции вторичных обмоток применяется мегомметр на 1000 в. Величина сопротивления изоляции вторичных обмоток обычно не нормируется, но вместе с присоединенными к ним вторичными цепями должна быть не менее 1 Мом.

Сопротивление изоляции измеряется у каждой обмотки по отношению к корпусу и присоединенным к нему остальным обмоткам.

У маслонаполненных трансформаторов тока имеющих экраны на вторичных (нижние ступени) или на промежуточных (верхние ступени) обмотках, кроме того, производится измерение сопротивления изоляции этих экранов относительно корпуса и соединенных с ним обмоток.

После сборки каскадных маслонаполненных трансформаторов тока производится измерение сопротивления изоляции обмоток, выводы которых выведены на верхний цоколь нижнего каскада относительно этого цоколя. При этом испытываемая обмотка на время измерения должна быть отсоединена от цоколя.

У маслонаполненных трансформаторов тока типа ТФКН производится измерение сопротивления изоляции — основной (между первичной обмоткой и измерительной, 14-й обкладкой), между измерительной и заземляемой (14 и 15-й обкладками) и между заземляемой обкладкой и корпусом. Измерение производится мегомметром на 1000—2500 в.

Измерение диэлектрических потерь. При определении характеристик изоляции маслонаполненных трансформаторов тока необходимо учитывать их некоторые конструктивные особенности. Так, для выравнивания напряженности электрического поля на вторичные обмотки трансформаторов тока типа ТФН-220, а у каскадных трансформаторов тока типа ТФН также и на промежуточную обмотку верхней ступени наложены экраны из металлической фольги. Экраны связаны с сердечниками обмоток и выведены на зажимы 3 соответствующих каскадов.

В тех случаях, когда вторичные цепи соединены с обмотками испытуемого трансформатора тока типа ТФН, измерение тангенса угла диэлектрических потерь необходимо производить по нормальной мостовой схеме

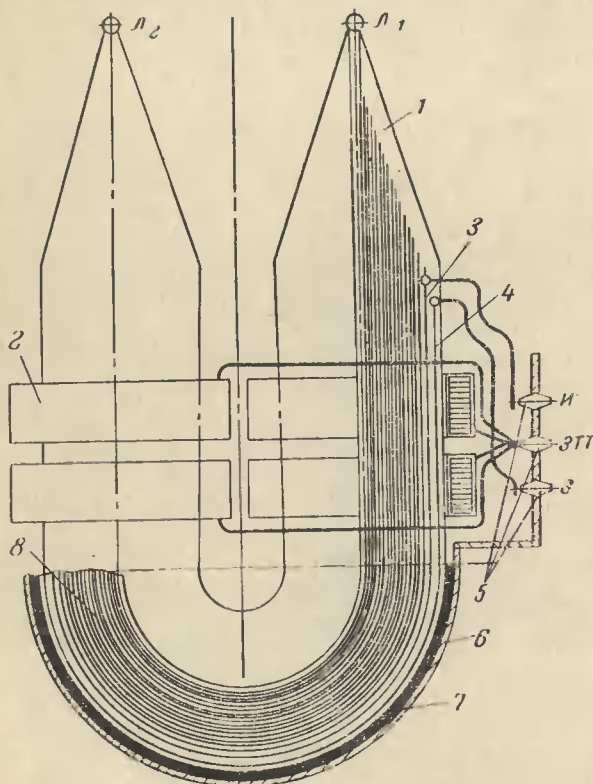


Рис. 3. Схематическое изображение трансформатора тока типа ТФКН-330.

И — вывод от измерительной обкладки; *З* — вывод от заземляемой обкладки; *ЗТТ* — вывод от сердечников вторичных обмоток трансформаторов тока; *1* — первичная обмотка; *2* — вторичная обмотка; *3* — измерительная (предпоследняя) обкладка; *4* — заземляемая (последняя) обкладка; *5* — проходные изоляторы; *6* — бак трансформатора; *7* — трансформаторное масло; *8* — внутренняя бумажно-конденсаторная изоляция.

с подсоединением к мосту вывода *З* трансформатора тока. При этом необходимо учитывать погрешность, вносимую в результаты измерения паразитной емкостью $C_{ш}$, включенной параллельно плечу R_3 мостовой схемы

(рис. 5). Паразитная емкость $C_{\text{ш}}$ (между экраном и вторичными обмотками трансформатора тока) может в 50—100 раз превышать емкость основной изоляции трансформатора тока.

Наличие паразитной емкости $C_{\text{ш}}$ приводит к увеличению измеренного значения тангенса угла диэлектрических потерь на величину

$$\Delta \operatorname{tg} \delta = C_{\text{эт}} \omega R_4 \frac{C_{\text{ш}}}{C_x},$$

где $C_{\text{эт}}$ — емкость эталонного конденсатора, $n\phi$;

$C_{\text{ш}}$ — паразитная емкость, шунтирующая плечо R_3 мостовой схемы, $n\phi$;

C_x — измеряемая емкость трансформатора тока, $n\phi$;

R_4 — сопротивление плеча моста, $ом$;

ω — угловая частота.

Таким образом, истинное значение тангенса угла диэлектрических потерь трансформатора может быть определено как

$$\operatorname{tg} \delta_x = \operatorname{tg} \delta_{\text{изм}} - \Delta \operatorname{tg} \delta,$$

где $\operatorname{tg} \delta_x$ — истинное значение тангенса угла диэлектрических потерь;

$\operatorname{tg} \delta_{\text{изм}}$ — то же, измеренное;

$\Delta \operatorname{tg} \delta$ — погрешность, вносимая паразитной емкостью $C_{\text{ш}}$.

Допустимая величина емкости $C_{\text{ш}}$ для моста типа МД-16 составляет:

$$C_{\text{ш}} = \frac{\Delta \operatorname{tg} \delta C_x}{\omega R_4 C_{\text{эт}}} = \frac{0,001 C_x}{2\pi f \frac{10\,000}{\pi} 50} 10^{12} = 20 C_x.$$

Таким образом, во избежание чрезмерной погрешности в измерении $\operatorname{tg} \delta$ изоляции испытуемых трансформаторов тока отношение $C_{\text{ш}}/C_x$ не должно превышать 20.

Исключение погрешности от шунтирования плеча R_3 мостовой схемы емкостью $C_{\text{ш}}$ может производиться или расчетным путем с использованием приведенных выше формул в тех случаях, когда погрешность $\Delta \operatorname{tg} \delta$ оказывается несоизмеримо малой по сравнению с $\operatorname{tg} \delta$ объекта, или уменьшением величины сопротивления плеча R_4 , или искусственным уменьшением емкости $C_{\text{ш}}$ до мини-

мально допустимой величины, или, наконец, применением схем измерения, исключающих воздействия шунтирующей емкости на измерительные элементы схемы.

Наиболее удобным в эксплуатационных условиях является способ уменьшения погрешности путем измерения диэлектрических потерь мостом типа МД-16 при сопротивлении R_4 , уменьшенном в 10 раз, т. е. $|R_4| = 1000/\pi$. При этом величина погрешности снижается также в 10 раз и ею можно пренебречь.

Десятикратное уменьшение сопротивления R_4 достигается подсоединением к выводам *НВ* и *Э* образцового конденсатора моста типа МД-16 проводочного сопротивления 353,7 ом с бифилярно намотанной обмоткой.

В эксплуатационных условиях источником возникновения паразитной емкости C_{III} могут, в частности, быть не

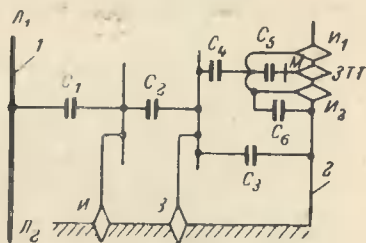


Рис. 4. Емкостная схема замещения трансформатора тока типа ТФКН-330.

C_1 — емкость основной изоляции; C_2 — емкость измерительного конденсатора; C_3 — емкость последней обкладки относительно корпуса; C_4 — то же относительно вторичных обмоток; C_5 — емкость вторичных обмоток относительно магнитопровода M ; C_6 — то же относительно корпуса; L_1-L_2 — первичная обмотка; I_1-I_2 — вторичная обмотка; $ЗТТ$ — вывод от магнитопровода; 1 — токоведущая часть обмотки; 2 — бак трансформатора.

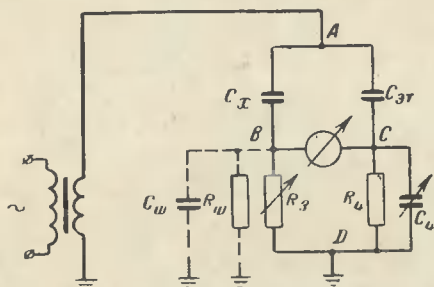


Рис. 5. Принципиальная схема моста для измерения диэлектрических потерь по «нормальной» схеме.

C_x — измеряемая емкость; C_{3T} — образцовая емкость; R_3 — омическое переменное сопротивление; R_4 — омическое постоянное сопротивление; C_4 — декадная емкость; $C_{III}-R_{III}$ — паразитная емкость и сопротивление.

только отдельные участки изоляции испытуемого трансформатора тока, попадающие в схему измерения, но и чрезмерная длина экранированного провода, связывающего объект с измерительной схемой, что возможно при измерениях, производимых с помощью передвижных лабораторий.

При испытаниях на монтаже, производимых до соединения вторичных цепей с обмотками трансформатора тока типа ТФН, измерение диэлектрических потерь производится по нормальной мостовой схеме с присоеди-

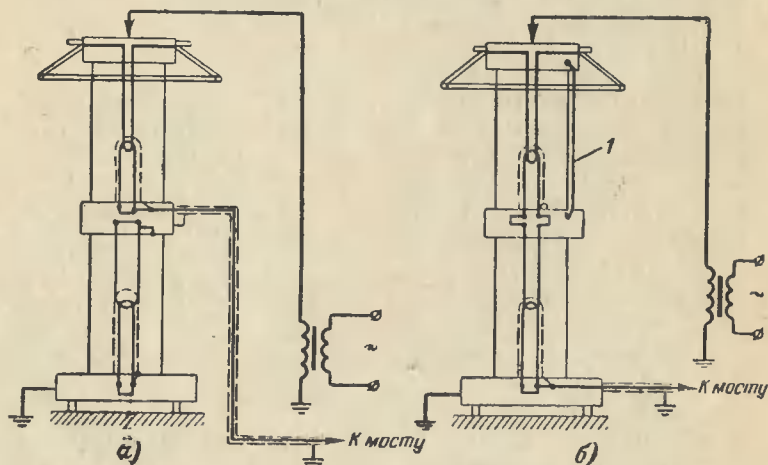


Рис. 6. Схемы измерения диэлектрических потерь каскадного трансформатора тока.

а — верхней ступени; б — нижней ступени; 1 — временная перемычка.

нением к мосту вывода 3 и соединенного с последним закороченных вторичных обмоток трансформатора тока.

У каскадных маслонаполненных трансформаторов тока типа ТФН измерения $\operatorname{tg} \delta$ производятся у каждой ступени в отдельности. Если защитный кожух трансформаторов тока находится в транспортном положении, его во избежание существенных погрешностей необходимо либо снять, либо установить на свое место (разъем цоколей нижней и верхней ступеней), если измерения производятся на полностью смонтированном трансформаторе тока.

Измерение диэлектрических потерь полностью смонтированных трансформаторов тока типа ТФН обычно

осуществляется без демонтажа ошиповки на стороне высокого напряжения. При этом предварительно снимаются кожухи, закрывающие места соединения каскадов и выводы вторичных обмоток.

При измерении $\text{tg } \delta$ изоляции верхнего каскада обычно применяют нормальную мостовую схему (рис. 6,а), при этом испытательный трансформатор схемы присоединяют к ошиновке трансформатора тока, а вывод C_x моста — к выводам промежуточной обмотки и экрану. Цоколь каскада при этом временно заземляется.

Для измерения $\text{tg } \delta$ изоляции нижнего каскада восстанавливают связь между средними обмотками и цоколем и шунтируют верхний каскад временной перемычкой (рис. 6,б).

Вывод C_x моста подсоединяют к экрану (предварительно разземлив его) и закороченным выводам вторичных обмоток. Если к выводам вторичных обмоток подключены цепи коммутации, вывод C_x моста подсоединяют только к экрану.

Для измерения $\text{tg } \delta$ изоляции всего трансформатора в сборе необходимо подсоединить испытательный транс-

Таблица 1

Измеряемый участок изоляции трансформатора тока (рис. 4)	Мостовая схема	Присоединение точек мостовой измерительной схемы (рис. 5)			Примечание
		А	В	Д	
C_1	Нормальная	К выводу L_1 первичной обмотки	К выводу И	Заземлена	Вывод З разземлен или соединен с выводом И
C_2	"	К выводу И	К выводу З	Заземлена и соединена с выводом L_1 .	1. Вывод З разземлен и соединен с выводами всех вторичных обмоток 2. Вторичные цепи должны быть отсоединены от выводов обмотки
C_3	Перевернутая	Заземлена	То же	—	То же
C_4	Нормальная	К выводу З	К выводам вторичных обмоток (I_1 — I_2) и выводу ЗТТ при его наличии	Заземлена	—

форматор к ошиновке, а вывод C_x моста — к выводу экрана нижней ступени.

В двух последних случаях должны быть приняты меры, указанные выше для уменьшения погрешности, вносимой в результаты измерения паразитной емкости экрана.

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь маслонаполненных трансформаторов типа ТФКН рекомендуется производить по схемам, приведенным в табл. 1.

Величина испытательного напряжения при измерении основной изоляции составляет 10 кв; для остальных схем измерения — 3—4 кв.

Наряду с измерением тангенса угла диэлектрических потерь изоляции трансформаторов тока должна определяться емкость обмоток последних.

Если при испытании используется измерительный мост типа МД-16, то определение емкости изоляции испытуемого трансформатора тока по известной величине сопротивления моста R_3 может ориентировочно производиться с помощью номограммы (рис. 7).

Так, например, если на мосте типа МД-16 с эталонным конденсатором $C_{эт} = 50$ пф при измерении получено $R'_3 = 159$ ом, то по номограмме (линия 1, проведенная через точку O) это соответствует емкости трансформатора тока $C_x = 1\,000$ пф. Линия 2 (проведена через точку O) соответствует случаю $R''_3 = 794$ ом, а $C''_x = 200$ пф.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты. Уровень испытательных напряжений в эксплуатации для трансформаторов тока и другого электрооборудования должен приниматься возможно более высоким, чтобы обеспечить возможность выявления дефектов на ранней стадии их возникновения. Однако выбранная величина испытательного напряжения не должна превышать заводского испытательного напряжения, ее необходимо скоординировать с принятым уровнем грозозащиты.

При испытании изоляции повышенным напряжением промышленной частоты должны обеспечиваться следующие условия:

воспроизведение условий работы изоляции, в наибольшей степени приближенных к реальным (температура изоляции, распределение электрического поля испытуемого объекта и т. п.). Последнее достигается подачей испытательного напряжения на электрод, который

в эксплуатации находится под высоким потенциалом, а также удалением из электрического поля испытуемых объектов посторонних предметов, искажающих его;

координация испытательного напряжения с уровнем грозозащиты;

правильное соотношение между испытательным и рабочим напряжениями;

правильный выбор параметров испытательной аппаратуры.

С. 1358191

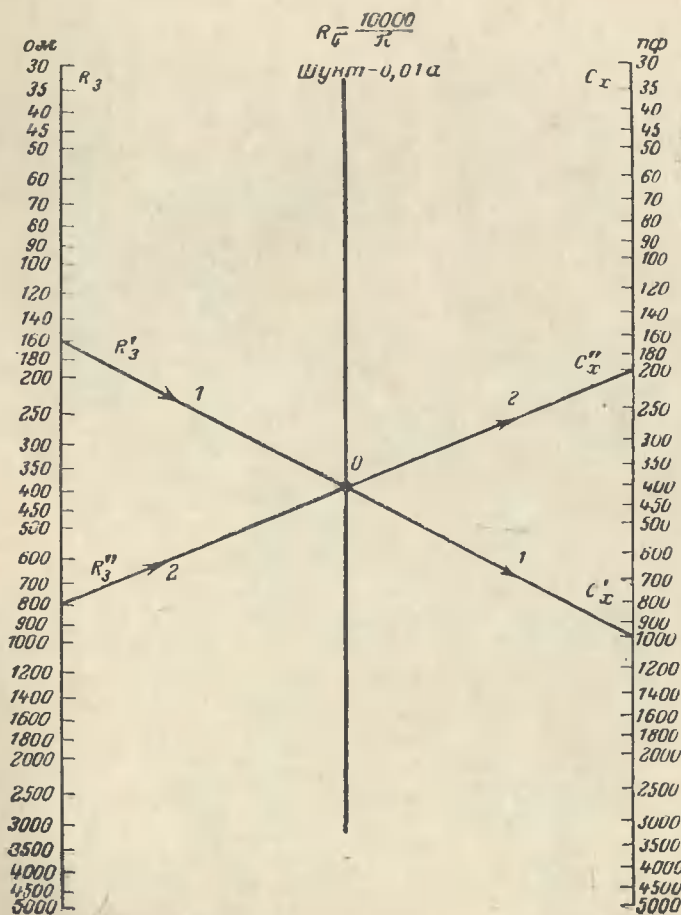


Рис. 7. Номограмма для определения величины емкости
Государственных трансформаторов тока.

Государственная
публичная библиотека
им. В.Г. Белинского
г. Свердловск

Для выбора элементов испытательной установки должны быть известны емкость испытуемого объекта и величина его испытательного напряжения.

Емкость отдельных типов трансформаторов тока приведена в табл. 2.

Таблица 2

Тип трансформатора тока	Номинальное напряжение, кв	Емкость трансформатора тока, пф	
		основной изоляции	измерительного конденсатора
ТП-10	10	400—500	—
ТФН-35	35	50—70	—
ТФН-110	110	60—100	—
ТФН-150	150	70—120	—
ТФН-220	220	90—130	—
ТФКН-330	330	600—800	25 000—40 000
ТФНКД-500	500	40—50 (общая каскадов), 100—120 (каждого каскада в отдельности)	—

Испытанию повышенным напряжением подвергаются первичные обмотки трансформатора тока с номинальным напряжением до 35 кв, а также вторичные обмотки.

Испытательное напряжение прикладывается поочередно к обмотке высокого напряжения и к каждой обмотке низкого напряжения по отношению к корпусу. При этом свободные обмотки соединяют с корпусом (заземляют).

При испытании изоляции вторичных обмоток маслонаполненных трансформаторов тока типа ТФН вывод экрана должен быть соединен с корпусом трансформатора тока.

Величина испытательного напряжения вторичных обмоток трансформаторов тока без присоединенных вторичных цепей составляет 1,8 кв, а после их подсоединения снижается до 1 кв.

Испытание шинных трансформаторов тока как с фарфоровой, так и с литой изоляцией производится после завершения монтажа ошиновки, совместно с последней.

Продолжительность приложения испытательного напряжения для маслонаполненных трансформаторов тока и с литой изоляцией составляет 5 мин, для фарфоровых трансформаторов тока — 1 мин.

Проверка герметичности уплотнений трансформаторов тока. Конденсаторная изоляция обмоток трансформаторов тока типа ТФКН весьма чувствительна к увлажнению, поэтому во избежание попадания влаги внутрь при монтаже и эксплуатации оценивают состояние уплотнений расширителей трансформаторов тока путем проверки на герметичность.

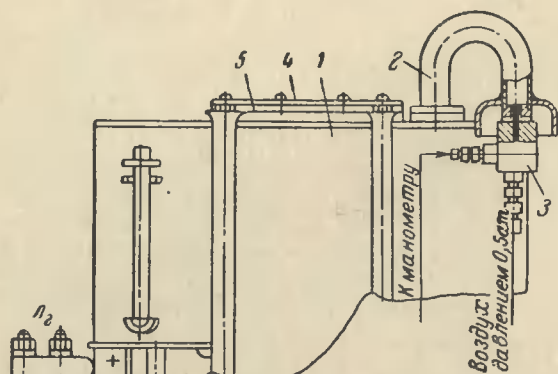


Рис. 8. Проверка герметичности уплотнений трансформатора тока типа ТФКН-330.

1 — трансформатор тока; 2 — патрубок; 3 — сварной штуцер; 4 — крышка; 5 — прокладка.

Для этого трансформатор через патрубок влагопоглотителя (рис. 8) доливают маслом до верхней кромки маслоуказателя. В местах уплотнений удаляют следы масла, а стекло маслоуказателя обертывают тканью на случай разрушения его при испытании давлением.

Взамен влагопоглотителя в резьбовое гнездо патрубка 2 ввертывается штуцер 3. К штуцеру через гибкий шланг присоединяются манометр со шкалой 1 ат и шланг для подачи воздуха. От компрессора, ручного автомобильного или велосипедного насоса в трансформатор тока подается воздух под давлением $0,5 \pm 10\%$ ат. Давление воздуха контролируется по манометру и выдерживается в течение 5 мин.

В конце выдержки испытательного давления проверяется состояние мест уплотнения крышки расширителя трансформатора тока путем промазывания их мыльным раствором. После снятия испытательного давления про-

изводится осмотр мест уплотнений, находящихся ниже уровня масла в расширителе.

В случае выявления некачественных уплотнений производится их устранение путем подтягивания болтов с повторным испытанием.

Трансформаторы напряжения. По виду исполнения внутренней изоляции трансформаторы напряжения делятся на маслонеполненные и сухие (с литой изоляцией).

По конструктивному исполнению маслонеполненные трансформаторы напряжения делятся на бакковые (типов НОМ, ЗНОМ, ЗОМ, НТМИ и др.), каскадные (типа НКФ) и емкостные (типа НДЕ-500).

Испытание изоляции бакковых трансформаторов напряжения типов НОМ, НТМИ и др., имеющих оба изолированных вывода обмотки ВН, заключается в измерении сопротивлением изоляции и испытании повышенным напряжением промышленной частоты.

У трансформаторов напряжения типов ЗНОМ, ЗОМ, НКФ и др., имеющих один из выводов обмотки высокого напряжения (ВН) с ослабленной изоляцией, испытание последней повышенным напряжением промышленной частоты обычно не производится. В этом случае оценка состояния изоляции обмотки высокого напряжения трансформатора оценивается по результатам измерения сопротивления изоляции мегомметром.

Методика измерения сопротивления изоляции и испытание повышенным напряжением промышленной частоты обмоток трансформаторов напряжения обычно ничем не отличаются от принятых для трансформаторов тока.

Измерение диэлектрических потерь у трансформаторов напряжения не получило сколько-нибудь заметного распространения и применяется у трансформаторов напряжения типов НКФ-500 и НДЕ-500 для оценки состояния делительных конденсаторов.

Для измерения диэлектрических потерь делительных конденсаторов полностью собранного трансформатора напряжения типа НКФ последний отключается от системы шин. Перемычки между конденсаторами, а также между конденсаторами и блоками трансформатора напряжения на время измерения должны быть сняты.

Верхние перемычки у конденсаторов не демонтируются.

Схемы измерения элементов делительных конденсаторов аналогичны применяемым для конденсаторов связи.

Одним из наиболее часто встречающихся дефектов в трансформаторах тока НКФ является обрыв связующей обмотки блоков (рис. 9). Поэтому до сборки блоков трансформатора напряжения, а также после завершения монтажа необходимо произвести проверку целостности связующих обмоток путем измерения их сопротивления постоянному току.

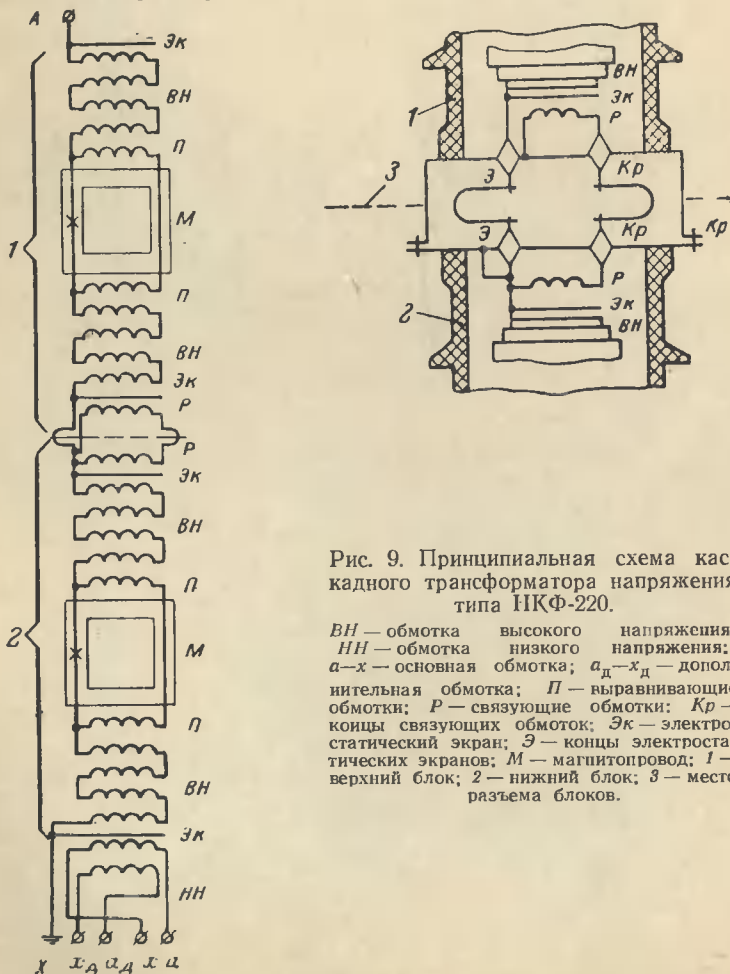


Рис. 9. Принципиальная схема каскадного трансформатора напряжения типа НКФ-220.

ВН — обмотка высокого напряжения;
 НН — обмотка низкого напряжения;
 а-х — основная обмотка; а_д-х_д — дополнительная обмотка; П — выравнивающие обмотки; Р — связующие обмотки; Кр — концы связующих обмоток; Эк — электростатический экран; Э — концы электростатических экранов; М — магнитопровод; 1 — верхний блок; 2 — нижний блок; 3 — место разъема блоков.

Ошибочное последовательное включение связующих обмоток равносильно короткому замыканию обмоток, что при включении трансформатора напряжения в сеть приведет к аварии. Поэтому контроль правильности сборки необходимо производить также и измерением коэффициента трансформации.

Трансформаторы напряжения типа НДЕ-500 представляют собой емкостный делитель, состоящий из ряда последовательно включенных конденсаторов, параллель-

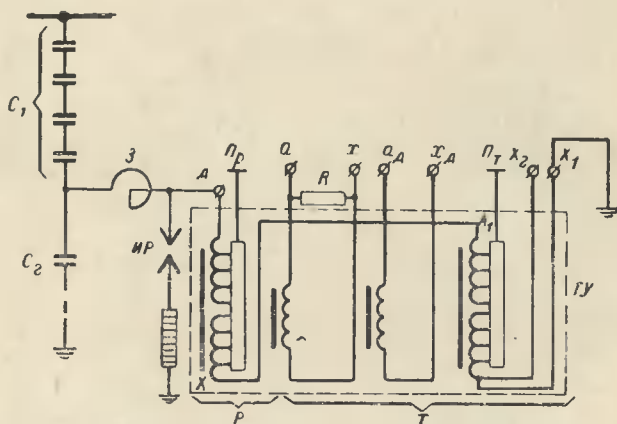


Рис. 10. Схема обмоток трансформаторного устройства емкостного трансформатора напряжения типа НДЕ-500.

C_1 — конденсаторы связи; C_2 — конденсатор отбора мощности; T — понижающий трансформатор; TU — трансформаторное устройство; P — реактор; $a-x$ — основная обмотка НН; a_d-x_d — дополнительная обмотка НН; A_1-x_1 — обмотка ВН; Z — заградитель; R — демпфирующее сопротивление; $Ир$ — вентильный разрядник; $П_t$ и $П_p$ — регулирующие устройства трансформатора и реактора.

но одному из которых (C_2) подсоединен понижающий трансформатор T (рис. 10). Последовательно с трансформатором включен заградитель Z для того, чтобы ограничить попадание высокочастотных импульсов в трансформаторное устройство TU .

Для защиты трансформаторного устройства от перенапряжений перед ним устанавливается вентильный разрядник $Ир$ типа РВС-20.

Сглаживание феррорезонансных колебаний, возникающих во вторичных цепях при коротком замыкании в них, достигается включением параллельно обмотке $a-x$

демпфирующего сопротивления R , состоящего из 12 сопротивлений типа ПЭ-150 по 50 ом каждое.

Реактор P включен в первичную обмотку понижающего трансформатора T и служит для компенсации емкостного падения напряжения при увеличении нагрузки вторичной обмотки. Обмотка реактора и обмотка ВН понижающего трансформатора имеют переключающее устройство для возможности регулирования напряжения.

При внешнем осмотре на монтаже трансформаторов напряжения типа НДЕ-500 необходимо особое внимание обращать на правильность комплектации конденсаторов связи, поскольку в противном случае возможно изменение коэффициента деления емкостного делителя.

В объем испытаний емкостного трансформатора напряжения входит:

испытание конденсаторов емкостного делителя;

испытание вентильных разрядников; испытание трансформаторного устройства. При этом производится измерение сопротивления изоляции обмоток мегомметром и измерение тангенса угла диэлектрических потерь обмотки ВН, который при испытательном напряжении 10 кВ не должен превышать 2%.

Изоляция вторичных обмоток трансформатора испытывается повышенным напряжением промышленной частоты.

Проверяется целостность обмоток и правильность работы переключающих устройств реактора и понижающего трансформатора путем измерения сопротивления обмоток постоянному току.

Измеряются величины демпфирующего сопротивления, которые должны находиться в пределах $(0,9 \div 1,1) R_{зав}$, и тока холостого хода трансформатора при отсоединенном демпфирующем сопротивлении. При этом испытательное напряжение 100 в подводится обычно к обмотке $a_d - x_d$ трансформатора.

В тех случаях, когда при проведении приемо-сдаточных испытаний на монтаже выявится необходимость в замене одного или нескольких конденсаторов емкостного делителя, следует определить новый коэффициент деления и в соответствии с измеренным коэффициентом изменить положение переключателя трансформаторного устройства, как это указано в заводском паспорте.

Для определения коэффициента деления собирается схема (рис. 11), состоящая из магазинов сопротивления типов МСР-47 и МСР-54.

В качестве переменной емкости C_0 , необходимой для компенсации углового сдвига напряжений на плечах мостовой схемы, может быть использован магазин емкостей типа Р513.

В качестве индикатора равновесия мостовой схемы может быть выбран гальванометр типа М501. Подавая от испытательного трансформатора напряжение порядка 1,5 кВ, производят компенсацию мостовой схемы. При полностью уравновешенной мостовой схеме коэффициент деления может быть определен как

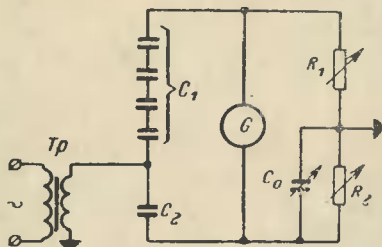


Рис. 11. Схема определения коэффициента деления емкостного трансформатора напряжения.

Tp — понижающий трансформатор; C_1 — конденсаторы связи; C_2 — конденсатор отбора мощности; G — гальванометр; C_0 — магазин емкости; R_1 и R_2 — магазины сопротивлений.

$$K_c = \frac{R_1}{R_2} + 1.$$

Конденсаторы с бумажно-масляной изоляцией. К ним относятся конденсаторы связи типа СМР; отбора мощности

типа ОМР; делительные типа ДМН; типа КМ для повышения коэффициента мощности и типа КМН продольной компенсации. Диэлектриком в этих конденсаторах является бумага, пропитанная минеральным маслом специальной очистки. В качестве обкладок применяется алюминиевая рулошная фольга.

Перед монтажом и проведением испытаний конденсаторов производится их внешний осмотр, который заключается в проверке исправности упаковки, отсутствия подтеков масла, целости фарфора, наличия всех болтовых соединений и т. п.

На батареях силовых конденсаторов (конденсаторы для улучшения коэффициента мощности и конденсаторы продольной компенсации) дополнительно проверяются расстояния между рядом стоящими конденсаторами, достаточность естественного охлаждения батарей, наличие автоматических разрядных устройств и т. п.

В объем приемо-сдаточных испытаний конденсаторов входит:

для конденсаторов связи и им подобных, имеющих небольшую емкость: измерение сопротивления изоляции; измерение диэлектрических потерь и емкости; испытание изоляции повышенным напряжением;

для силовых конденсаторов (конденсаторы для улучшения коэффициента мощности и конденсаторы продольной компенсации): измерение емкости и испытание изоляции повышенным напряжением.

Измерение сопротивления изоляции каждого элемента конденсатора связи и им подобных обычно производится мегомметром на 2500 в и служит лишь для ориентировочной оценки состояния изоляции. Измерение сопротивления изоляции в ряде случаев практикуется и для силовых конденсаторов, имеющих сравнительно небольшую емкость.

Попытка оценить состояние изоляции силовых конденсаторов, имеющих значительную емкость, с помощью мегомметра обычно приводит к ошибочному результату, поскольку за время 60 сек еще не закончится процесс зарядки геометрической емкости объекта и зарядный ток искажает абсорбционные явления.

Поскольку за время 15—60 сек силовой конденсатор не успевает зарядиться, а ток, проходящий через его изоляцию, снизиться до установившегося значения, то мегомметр показывает сопротивление изоляции меньше истинного в несколько раз.

Кроме того, при подключении источника постоянного напряжения (мегомметра) к цепи, содержащей емкость, в первый момент времени (при $t=0$) по цепи пойдет ток, определяемый напряжением мегомметра и сопротивлением цепи. Поскольку сопротивление внешней цепи обычно весьма мало, это приводит к тому, что мегомметр в момент включения оказывается замкнутым практически накоротко. Поэтому работа мегомметра в подобном режиме зачастую приводит к его повреждению.

В тех случаях, когда с помощью мегомметра предполагается определить исправность электрического соединения секций конденсатора (при последовательном соединении секций), для защиты мегомметра от чрезмерных токов перегрузки рекомендуется в измерительную цепь включать ограничительное сопротивление порядка 1 Мом.

Измерение емкости элементов конденсаторов связи и им подобных в большинстве случаев производится на

частоте 50 *гц* или на звуковой частоте при помощи электроизмерительных приборов, собранных по мостовой схеме.

Если измерение емкости производится при температуре, отличающейся от 20° С, то производится температурный пересчет.

Температурная зависимость емкости в интервале температур от 20 до 60° С имеет прямолинейный характер и в общем случае может быть выражена формулой

$$C_t = C_0(1 + \alpha \Delta t),$$

где C_0 — емкость, измеренная при первоначальной температуре t_0 ;

α — температурный коэффициент емкости ($\alpha = 0,0004 \div 0,0006$ 1/*град*);

Δt — разность первоначальной и конечной температур.

На практике обычно пользуются температурными поправками на емкость, которые, по данным конденсаторного завода, составляют в среднем 0,5—0,65% на каждые 10° С изменения температуры.

Пример. Емкость конденсатора, измеренная на заводе при температуре 5° С, составляет 1 000 *нф*. Измерения емкости в эксплуатации производились при температуре 25° С. Значение емкости, приведенное к температуре 25° С, равно:

$$C_{\text{прив}} = C_{\text{изм}} [1 + (t_{25} - t_{\text{изм}})n] = 1\,000 [1 + (25 - 5)0,065 \cdot 10^{-2}] = 1\,013 \text{ нф.}$$

Температура изоляции конденсаторов обычно определяется по температуре окружающего воздуха.

В холодное время года вновь монтируемые конденсаторы перед измерением емкости выдерживаются не менее 24 *ч* в теплом помещении. Измеренные величины емкостей сравниваются с паспортными данными.

Уменьшение емкости свидетельствует об обрыве токоведущих частей конденсатора, а увеличение — о частичном пробое секций.

Таблица 3

Измеренная емкость	Закорачиваемые выводы конденсаторов (рис. 12)	Выводы, между которыми измеряется емкость
C_{1-23}	2—3	1—2 (3)
C_{3-12}	1—2	3—1 (2)
C_{2-13}	1—3	2—1 (3)

К испытательному трансформатору

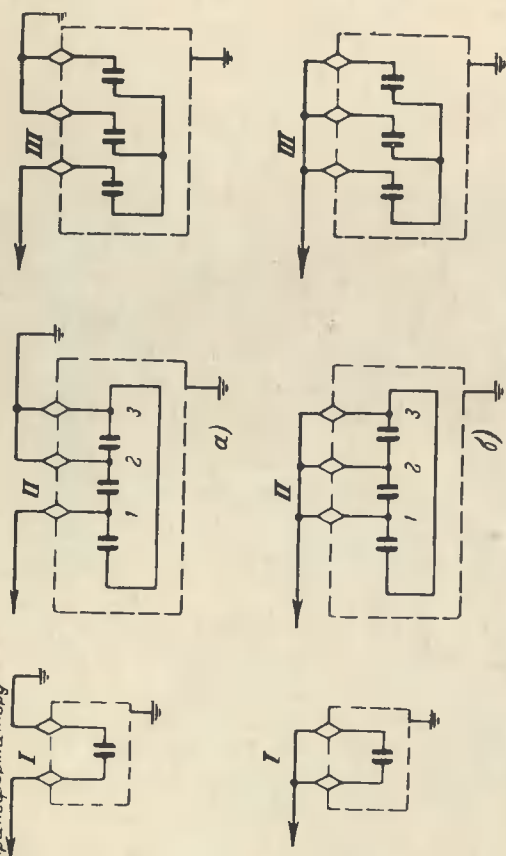


Рис. 12. Схемы испытания конденсатора повышенным напряжением промышленной частоты.
 а — испытание изоляции между обкладками конденсатора; б — то же относительно корпуса;
 I — однофазные конденсаторы; II — трехфазные трансформаторы, соединенные в треугольник;
 III — то же в звезду.

Измерение емкости силовых конденсаторов, имеющих трехфазное исполнение или собранных в треугольник, производится в соответствии с табл. 3.

Определение емкости конденсаторов каждой из фаз производится по формулам

$$C_{12} = \frac{C_{3-12} + C_{2-13} + C_{1-23}}{2};$$

$$C_{23} = \frac{C_{3-12} + C_{2-13} + C_{1-23}}{2};$$

$$C_{13} = \frac{C_{1-23} + C_{2-13} + C_{3-12}}{2}.$$

Емкости отдельных фаз конденсаторов не должны отличаться между собой более чем на $\pm 5\%$.

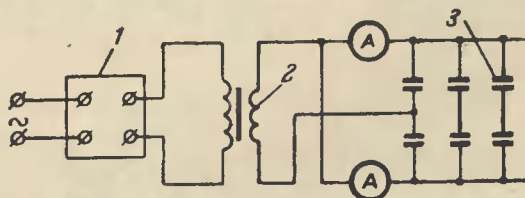


Рис. 13. Схема для определения емкости конденсаторов продольной компенсации.

1 — стабилизатор напряжения; 2 — понизительный трансформатор 220/24 в; 3 — конденсатор продольной компенсации.

В эксплуатации контроль за величинами емкостей конденсаторов осуществляется с помощью амперметра, показывающего величину тока в каждой из фаз конденсаторов.

Измерение емкости конденсаторов продольной компенсации производится по схеме, приведенной на рис. 13* и состоящей из стабилизатора напряжения, понизительного трансформатора 220/24 в и двух амперметров.

Поскольку к измеряемым конденсаторам подводится стабилизированное напряжение, то шкалы амперметров схемы могут быть проградуированы для непосредственного отсчета величины емкости.

Измерение диэлектрических потерь производится с помощью мостов типов МД-16 и Р-525 у конденсато-

* Схема предложена Н. Д. Злобиным и И. М. Стуловым, сб. «Рационализаторские предложения», № 174, изд-во «Энергия», 1963.

ров связи и им подобных конденсаторов. У силовых конденсаторов измерения $\operatorname{tg} \delta$ обычно не производится.

Измерение $\operatorname{tg} \delta$ элементов конденсатора обычно производится по нормальной схеме. При этом на время измерения нижний фланец элемента конденсатора должен быть изолирован от земли путем установки на резиновый коврик или лист гетинакса, обеспечивающие сопротивление изоляции не ниже 1 Мом.

В тех случаях, когда измерение $\operatorname{tg} \delta$ производится на полностью собранных в колонну конденсаторах, необходимо отсоединить его от линии электропередачи и от проводов, идущих на высокочастотный пост. Однако если конденсатор подсоединен к линии электропередачи через разъединитель, то возможно путем применения для верхнего элемента нормальной схемы не отсоединять его от ошиновки. При этом измерении к верхнему фланцу элемента конденсатора подводится напряжение от испытательного трансформатора, а провод от мостовой схемы подводится к нижнему фланцу этого (верхнего) элемента.

От нижнего фланца элемента, установленного на изолирующем цоколе, отсоединяется провод, идущий на высокочастотный пост, или к нижнему фланцу этого элемента подводится экран от мостовой измерительной схемы.

При измерении нижнего элемента конденсатора измерение $\operatorname{tg} \delta$ при отсоединенном проводе высокочастотного поста, как и обычно, производится по нормальной схеме.

При измерении $\operatorname{tg} \delta$ элементов конденсаторов в случае необходимости следует вносить поправку на температуру. Температурная зависимость диэлектрических потерь конденсаторов имеет характерный U-образный вид, присущий диэлектрикам с кабельно-конденсаторной изоляцией.

Обычно в интервале положительных рабочих температур (до 40° С) диэлектрические потери конденсаторов изменяются весьма незначительно и поэтому температурный пересчет для указанного диапазона температур может не производиться.

Испытание повышенным напряжением. Испытание элементов конденсаторов связи и им подобных, а также силовых конденсаторов повышенным напряжением промышленной частоты обычно производится лишь при наличии соответствующей испытательной установки. При

отсутствии такой установки испытание конденсаторов повышенным напряжением промышленной частоты может быть заменено испытанием выпрямленным напряжением удвоенной величины.

Испытательное напряжение может измеряться при испытании на переменном токе как со стороны высокого напряжения испытательного трансформатора, так и со стороны его обмотки низкого напряжения.

При испытании повышенным выпрямленным напряжением измерения производятся, как правило, со стороны обмотки низкого напряжения испытательного трансформатора. Длительность приложения испытательного напряжения 1 мин.

В тех случаях, когда испытание конденсаторов производится повышенным выпрямленным напряжением, целесообразно дополнительно оценивать состояние изоляции конденсаторов по величине тока утечки. Последний для конденсаторов с исправной изоляцией весьма мал и составляет несколько микроампер.

Схемы испытания силовых конденсаторов приведены на рис. 12.

После проведения испытания повышенным напряжением рекомендуется у испытуемого элемента конденсатора связи повторно измерять $\lg \delta$ и емкость.

Элемент конденсатора считается выдержавшим испытание, если при этом не наблюдалось пробоя изоляции, перекрытия, а также если повторно измеренный тангенс угла диэлектрических потерь и емкость не увеличились по сравнению с первоначальными результатами измерения.

После проведения комплекса испытаний силовых конденсаторов производится трехкратное включение на рабочее номинальное напряжение всей конденсаторной батареи с измерением токов по фазам. При такой проверке не должны перегорать предохранители, прослушиваться разряды в отдельных конденсаторах, и т. п. Токи в различных фазах не должны отличаться друг от друга более чем на 5%.

Масляные выключатели. При внешнем осмотре выключателей проверяются состояние привода, чистота и целостность изоляции, уровень масла в баках, отсутствие течи масла из бака, правильность выполнения контактных присоединений ошиновки и др.

Измерение сопротивления изоляции подвижных и направляющих частей, выполненных из органических материалов, обычно производится мегомметром на напряжение 2 500 в.

Первое измерение производится, как правило, при включенном положении масляного выключателя. При этом измеряется суммарное сопротивление изоляции вводов, подвижных и направляющих частей выключателя.

Если результаты измерения окажутся менее нормированных величин, тогда приступают к непосредственному измерению сопротивления изоляции подвижных и направляющих частей. Для этого мегомметром производят второе измерение сопротивления изоляции при отключенном масляном выключателе и замкнутых накоротко вводах каждого полюса.

По результатам двух измерений определяется сопротивление изоляции подвижных и направляющих частей, исходя из следующих соображений.

При первом (включенном) положении масляного выключателя для токов утечки имеются две параллельные ветви сопротивления: первая — трансформаторное масло и вводы, вторая — подвижная система аппарата.

При отключенном положении масляного выключателя имеет место только первая из двух параллельных ветвей сопротивления.

Таким образом, сопротивление изоляции подвижной системы выключателя определится как

$$R_{\text{из}} = \frac{R_{\text{вкл}} R_{\text{откл}}}{R_{\text{откл}} - R_{\text{вкл}}}$$

где $R_{\text{вкл}}$ — сопротивление изоляции, измеренное при включенном положении масляного выключателя;

$R_{\text{откл}}$ — то же при отключенном.

В тех случаях, когда масло из баков выключателя слито или имеется возможность опустить баки аппарата, измерение сопротивления изоляции подвижной системы предпочтительно производить мегомметром, подводя напряжение непосредственно к подвижным и направляющим частям.

Помимо оценки состояния подвижной системы аппарата, рекомендуется у масляных выключателей типа ВМ-35 производить измерение сопротивления изоляции фибровых прокладок дугогасительных камер. Для этого

мегомметром производится измерение сопротивления изоляции между каждой парой пластин, которое должно быть не ниже 3—5 ком.

В случае получения неудовлетворительных результатов рекомендуется просушить фибровые прокладки.

Измерение диэлектрических потерь. Другим критерием оценки состояния изоляции баковых масляных выключателей на напряжение 35 кВ и выше является измерение диэлектрических потерь.

При измерении по «перевернутой» схеме диэлектрических потерь полностью смонтированных вводов необходимо учитывать возможность получения завышенных результатов измерения за счет влияния элементов внутрибаковой изоляции (дугогасительные устройства, обшивка баков, барьеры и т. п.), так как емкость последних включена параллельно емкости измеряемого ввода. В этом случае измеренное значение диэлектрических потерь оказывается равным:

$$\operatorname{tg} \delta_x = \frac{\operatorname{tg} \delta_b C_b + \operatorname{tg} \delta_6 C_6}{C_b + C_6},$$

где $\operatorname{tg} \delta_b$ и $\operatorname{tg} \delta_6$ — диэлектрические потери соответственно ввода и элементов внутрибаковой изоляции;

C_b и C_6 — емкости соответственно ввода и элементов внутрибаковой изоляции.

Чем хуже состояние внутрибаковой изоляции, тем большее влияние на результаты измерения она оказывает. Поэтому в тех случаях, когда получено завышенное значение $\operatorname{tg} \delta$ вводов, должны быть приняты меры к исключению из измерения внутрибаковой изоляции.

Последнее достигается сливом масла из баков выключателей, опусканием баков и шунтированием дугогасительных камер.

Принято, что внутрибаковая изоляция подлежит сушке, если исключение влияния ее снижает измеренный $\operatorname{tg} \delta$ более чем на 4—5%.

Испытание повышенным напряжением. Заключительным этапом проверки изоляции масляных выключателей является испытание повышенным напряжением промышленной частоты. В эксплуатации испытательное напряжение обычно прикладывается:

между токоведущими и заземленными элементами выключателя, а также между токоведущими частями соседних полюсов (рис. 14, а, б, г);

между разомкнутыми контактами одного и того же полюса при отключенном положении аппарата (рис. 14, в, д).

Масляный выключатель считается выдержавшим испытание повышенным напряжением промышленной частоты, если не было замечено разрядов, перекрытия, пробоя, нагрева изоляции или, наконец, толчков тока

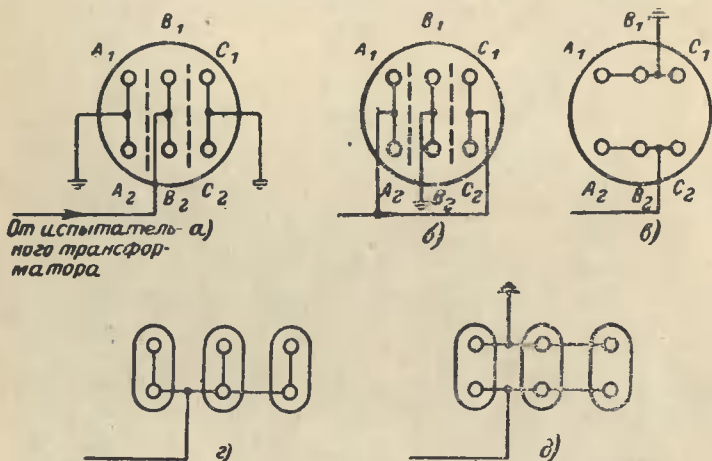


Рис. 14. Испытание изоляции масляного выключателя повышенным напряжением промышленной частоты.

а — у однобакового средней фазы; *б* — то же крайних фаз; *в* — то же контактного разрыва; *г* — у трехбакового каждой из фаз; *д* — то же контактного разрыва.

в первичной цепи испытательной установки. Наличие разрядов при испытании зачастую происходит в результате нарушения электрической связи изоляционных промежутков, обладающих определенной емкостью.

Оценка состояния вновь устанавливаемых или вышедших из ремонта изолирующих штанг или тяг масляного выключателя обычно производится испытанием на поверхностное перекрытие приложенным напряжением промышленной частоты. При этом допускается производить испытание этих элементов по частям, выбирая величину испытательного напряжения исходя из расчета 4 кв на 1 см длины штанги или тяги. Время приложения испытательного напряжения принимается 5 мин.

При испытании на поверхности детали не должно наблюдаться перекрытий или разрядов.

Непосредственно после испытания деталь проверяется на ощупь, при этом не должно быть мест повышенного нагрева или с потемненной поверхностью.

Разъединители. При внешнем осмотре разъединителей проверяется отсутствие видимых повреждений фарфоровых изоляторов; состояние подвижных и неподвижных контактов, передаточного механизма; наличие консистентной смазки.

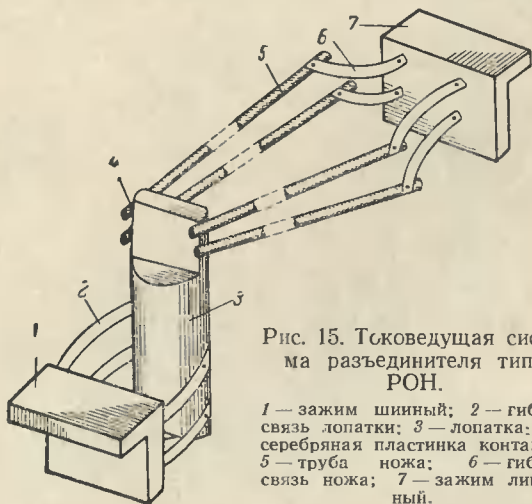


Рис. 15. Токосоведущая система разъединителя типа РОН.

1 — зажим шийный; 2 — гибкая связь лопатки; 3 — лопатка; 4 — серебряная пластинка контакта; 5 — труба ножа; 6 — гибкая связь ножа; 7 — зажим лицевой.

Оценка состояния изоляторов разъединителей может производиться путем измерения мегомметром сопротивления изоляции; определением с помощью измерительной штанги падения напряжения на отдельных элементах штыревых изоляторов и, наконец, испытанием всего изолятора в целом или по частям повышенным напряжением промышленной частоты. Методика этих испытаний изложена ниже.

Одним из способов контроля состояния контактных соединений токоведущей цепи разъединителей является измерение их сопротивления на постоянном токе. Измерение рекомендуется производить по методу вольтметра-амперметра, получившему наиболее широкое распространение на монтаже, по возможности пропуская через контактную систему разъединителя постоянный ток достаточно большой величины.

Приводимые в нормативных и заводских материалах предельно допустимые величины переходных сопротивлений контактов обычно даются для всего токоведущего контура полюса разъединителя.

Однако наличие в токоведущем контуре разъединителей типов РОН и РОНЗ большого количества параллельно соединенных элементов (рис. 15): труб ножа 5, гибких связей лопатки 2 и гибких связей труб 6 делает измерение общего сопротивления постоянно-му току контура нечувствительным к различного рода дефектам в контактной системе разъединителя.

Эксперименты, проведенные на разъединителях типа РОНЗ-220, показали, что при весьма слабом нажатии двух контактных пружин ножа (из четырех) общее сопротивление контура, составляющее порядка 100 мком, увеличивается всего на 10%, в то время как переходные сопротивления отдельных параллельных цепей, имеющих ослабленные контакты, увеличиваются в 1,5—2 раза. Поэтому при наладке разъединителей типа РОНЗ, помимо измерения общего сопротивления токоведущего контура (участок 1—7), рекомендуется производить измерение падения напряжения на отдельных его участках:

зажим 1—лопатка; зажим 7—труба ножа; лопатка—каждая труба ножа в отдельности. В этом случае оценка состояния отдельных контактных соединений элементов токоведущего контура производится путем сравнения измеренных величин падения напряжения между собой.

Для контроля токоведущего контура заземляющего ножа производятся два измерения сопротивления: всего контура и разъемного контакта.

Сопротивление контура составляет в среднем 2000 мком, а сопротивление разъемного контакта при хорошем качестве монтажа не превышает 100 мком.

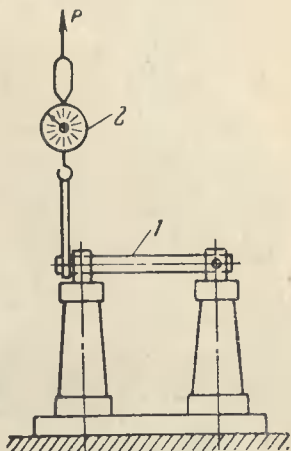


Рис. 16. Схема определения усилия выдергивания ножа разъединителя.

1 — нож разъединителя;
2 — динамометр.

Наряду с измерением сопротивления контактов постоянному току у разъединителей 3—10 кв, работающих при токах, близких к номинальному значению, рекомендуется определять состояние контактных пружин. Последнее характеризуется усилием, которое необходимо приложить, чтобы вытянуть нож из губок.

Вытягивание ножа производится для каждого полюса разъединителя в отдельности (рис. 16).

При этом соприкасающиеся контактные поверхности должны быть обезжирены. Необходимое усилие нажатия контактных пружин достигается с помощью фиксирующих винтов.

Усилие, вытягивающее нож, должно быть направлено перпендикулярно к его оси и быть не менее данных, приведенных ниже.

Номинальный ток разъединителя, а	400	600	1 000—2 000	3 000
Усилие вытягивания ножа, кг	10	20	40	80

Сухие реакторы. Реактор является индуктивной катушкой без магнитопровода с малым активным сопротивлением и служит для ограничения токов короткого замыкания в электрических сетях 3—35 кв.

Обмотка сухих реакторов крепится на бетонном каркасе, который для повышения влагостойкости подвергается сушке в вакууме и последующей пропитке олифой или смолистыми веществами. Подобная обработка бетона, а также изолирование друг от друга витков обмотки необходимо для создания достаточной электрической прочности в тех случаях, когда при прохождении через реактор тока короткого замыкания на него ложится значительная часть рабочего напряжения.

Для изолирования основания отдельных фаз бетонного реактора от земли и между собой используются опорные изоляторы.

При внешнем осмотре, производимом перед приемосдаточными испытаниями реактора, обычно проверяются: отсутствие трещин и сколов бетонных колонок, прочность вмазки в бетон крепежных болтов и контактных зажимов, целостность лакового покрова бетонных колонок, исправность изоляции витков, отсутствие деформации витков и замыкания их между собой, отсутствие повреждений опорных изоляторов и надежность их крепления к бетонным колонкам.

При осмотре проверяется также направление намотки витков средней фазы, которое должно быть противоположным направлению витков верхней и нижней фаз (при вертикальной установке) и крайних фаз (при горизонтальной установке).

В объем приемо-сдаточных испытаний полностью собранных бетонных реакторов входит:

а) *Измерение сопротивления изоляции обмотки каждой фазы относительно болтов крепления бетонных колонок и фланцев опорных изоляторов.* При вертикальной установке катушек оценивается также сопротивление изоляции опорных изоляторов, расположенных между обмотками разных фаз.

Измерение сопротивления изоляции обычно производится мегомметрами на 1 000—2 500 в. Считается, что исправная изоляция обмоток относительно болтов крепления бетонных колонок должна иметь сопротивление не ниже 0,5 Мом. Если сопротивление изоляции оказалось ниже указанной нормы, необходимо просушить бетонные колонки и подвергнуть их дополнительной лакировке.

б) *Испытание повышенным переменным напряжением.* Испытанию подвергается опорная изоляция каждой из фаз на землю (при горизонтальной установке катушек) или нижней катушки на землю и катушек между собой (при вертикальной установке катушек).

Вводы и проходные изоляторы. Конструктивно проходные изоляторы и вводы состоят из следующих основных элементов: внешней изоляции, т. е. наружной части изолирующей конструкции. Основным признаком внешней изоляции является зависимость ее электрической прочности от атмосферных условий;

внутренней изоляции (масло, бумага, фарфор и т. п.);

токоведущего стержня;

арматуры (фланец, соединительная втулка, маслорасширитель, контактные наконечники и т. п.).

Наибольшее распространение получили проходные изоляторы и вводы следующих конструкций:

фарфоровые сплошные или с внутренней полостью, применяемые в распределительных устройствах напряжением до 35 кв.

мастиконаполненные с бакелито-бумажным остовом, предназначенные в основном к установке на баковых масляных выключателях 35 кв;

маслобарьерные вводы, в которых фарфоровая крышка заполнена трансформаторным маслом с разделяющими бумажными или бакелитовыми барьерами;

вводы с бумажно-масляной изоляцией, в которых основной изоляцией является сердечник, намотанный из кабельной бумаги, пропитанной маслом. Сердечник помещается в заполненные маслом фарфоровые крышки.

Вводы этого типа получили в настоящее время основное распространение.

Обычно испытаниям предшествует наружный осмотр проходных изоляторов и вводов, который заключается в проверке состояния и целостности фарфора, наличия необходимой арматуры и ее исправности; уровня масла в расширителе вводов и в гидравлическом затворе; состояния мастики во вводах; состояния уплотнений; отсутствия течи масла и т. п.

Приемо-сдаточные испытания маслonaполненных вводов включают в себя измерение сопротивления изоляции; измерение тангенса угла диэлектрических потерь; испытание повышенным напряжением промышленной частоты при наличии соответствующей испытательной аппаратуры; оценку качества масла, находящегося во вводе. В отдельных случаях эти испытания дополняются проверкой герметичности вводов.

Измерение сопротивления изоляции производится у вводов с бумажно-масляной изоляцией и заключается в проверке мегомметром на 1 000—2 500 в состояния фарфоровых проходных изоляторов, укрепленных на соединительной втулке испытуемого ввода совместно с изоляцией проводников, соединяющих эти изоляторы с его обкладками.

Принято, что сопротивление изоляции, измеренное мегомметром, должно быть не ниже 1 000 *Мом*.

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь производится у вводов и проходных изоляторов, имеющих основную изоляцию, выполненную из твердых органических материалов, кабельных или жидких масс. В частности, изоляция из твердых органических материалов (бакелито-бумажная основа) имеется у мастиконаполненных вводов баковых выключателей 35 кВ.

Для таких вводов, установленных на аппарате, производится измерение $\operatorname{tg} \delta$ основной изоляции по перевер-

нутой схеме с учетом влияния внутрибаковой изоляции выключателя.

Измерение $\operatorname{tg} \delta$ вводов 35 кВ позволяет выявить увлажнение бакелито-бумажной основы и в меньшей степени дефекты компаундного наполнителя, особенно в начальной стадии их развития.

Рекомендуемые схемы измерения $\operatorname{tg} \delta$ маслонаполненных вводов различного конструктивного исполнения приведены в табл. 4.

При применении ряда «перевернутых» схем измерения рекомендуется для устранения влияния отдельных участков изоляции ввода исключить их из данной схемы измерения путем придания такого же, как и для измеряемой изоляции, потенциала.

При измерении $\operatorname{tg} \delta$ трансформаторных маслобарьерных вводов, не имеющих вывода от последней заземляемой обкладки, должны быть приняты меры к устранению влияния на результаты измерения обмоток силового трансформатора.

Поскольку в этом случае емкости ввода и обмоток силового трансформатора оказываются включенными параллельно, измеренная величина диэлектрических потерь оказывается равной:

$$\operatorname{tg} \delta_x = \frac{C_{обм} \operatorname{tg} \delta_{обм} + C_{в} \operatorname{tg} \delta_{в}}{C_{обм} + C_{в}} = \frac{\operatorname{tg} \delta_{обм} + \frac{C_{в}}{C_{обм}} \operatorname{tg} \delta_{в}}{1 + \frac{C_{в}}{C_{обм}}},$$

где $\operatorname{tg} \delta_{обм}$ и $\operatorname{tg} \delta_{в}$ — диэлектрические потери соответственно обмоток и измеряемого ввода силового трансформатора;

$C_{обм}$ и $C_{в}$ — емкости соответственно обмоток и измеряемого ввода силового трансформатора.

Так как емкость ввода 110—220 кВ составляет 200—300 пФ (соответственно 800—1 200 пФ на три фазы с нулевым выводом), а емкость обмотки ВН силового трансформатора мощностью до 100 Мва может быть принята ориентировочно как 4 000 пФ, то, подставляя в вышеприведенную формулу указанные величины емкостей, можно получить:

$$\operatorname{tg} \delta_x = \frac{\operatorname{tg} \delta_{обм} + \frac{800}{4\,000} \operatorname{tg} \delta_{в}}{1 + \frac{800}{4\,000}} \approx \operatorname{tg} \delta_{обм} + 0,2 \operatorname{tg} \delta_{в}.$$

Из приведенного выражения видно, что измеренная величина диэлектрических потерь практически не характеризует истинного состояния ввода.

Поэтому при измерении диэлектрических потерь трансформаторных вводов, не имеющих вывода последней заземляемой обкладки, необходимо временно изоли-

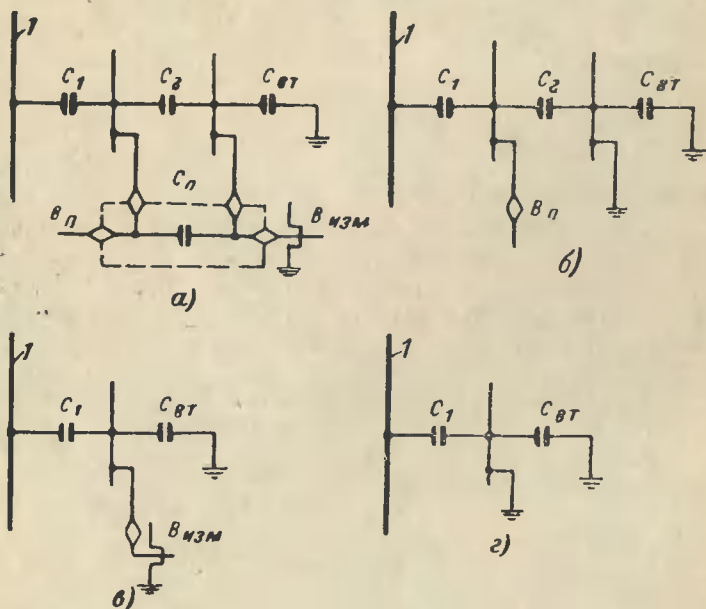


Рис. 17. Емкостные схемы замещения изоляции маслонаполненных вводов.

C_1 — основная изоляция ввода; C_2 — изоляция измерительного конденсатора; C_{BT} — изоляция последней обкладки относительно соединительной втулки; $C_{П}$ — подгоночный конденсатор; $V_{П}$ — вывод потенциометрического устройства; $V_{НЗМ}$ — вывод для измерения (гб); 1 — токоведущий стержень ввода.

ровать соединительную втулку ввода от бака силового трансформатора. Можно также отсоединить гибкий отвод обмотки силового трансформатора от ввода и изолировать отвод от токоведущей трубы ввода.

Как известно, в маслобарьерных вводах основной изоляцией является масло, разделенное на последовательные слои (в радиальном направлении) бумажно-бакелитовыми цилиндрами.

Таблица 4

Емкостная схема за- мещения ввода	Измеряе- мый уча- сток изо- ляции вво- да	Мостовая схема	Присоединение точек мостовой измерительной схемы (рис. 5)				Примечание
			А	В	Д		
Рис. 17, а	C_1	Нормаль- ная	К токоведущему стержню ввода	К выводу $V_{\text{п}}$	Заземлена	Вывод $V_{\text{взм}}$ разземлен	
	C_2	То же	К выводу $V_{\text{п}}$	К выводу $V_{\text{взм}}$	"	То же	
	$C_1 + C_2$	"	К токоведущему стержню ввода	То же	"	"	
	$C_{\text{вт}}$	Перевер- нутая	Заземлена	"	К токоведуще- му стержню ввода	"	
Рис. 17, б	C_1	Перевер- нутая	Заземлена	К токоведуще- му стержню ввода	—	Вывод $V_{\text{п}}$ заземлен. Схема может быть применена для измерения вводов, установленных на мас- ляных выключателях неопишно- ванных	
	C_1	Нормаль- ная	К токоведущему стержню ввода	К выводу $V_{\text{п}}$	Заземлена	Схема может быть применена для измерения вводов, установленных на аппаратах с учетом по- грешности, вносимой емкостью C_2	

Емкостная схема заме- щения вво- да	Измеряе- мый уча- сток изо- ляции ввода	Мостовая схема	Присоединение точек мостовой измерительной схемы (рис. 5)				Примечание
			A	B	V	D	
Рис. 17, в	C_2	Перевер- нутая	Заземлена	К выводу V_{II}	К токоведуще- му стержню ввода	—	
	$C_1 + C_2$	То же	"	К токоведуще- му стержню ввода	—	—	
	C_1	Нормаль- ная	К токоведущему стержню ввода	К выводу $V_{взм}$	Заземлена	Вывод $V_{взм}$ разземлен	
Рис. 17, г	$C_{вт}$	Перевер- нутая	Заземлена	То же	К токоведуще- му стержню ввода	То же	
	C_1	То же	"	К токоведуще- му стержню ввода	—	При измерении вводов, установленных на силовых трансформаторах, должны быть приняты меры, исключающие влияние обмоток	

При измерении диэлектрических потерь внутренней изоляции таких вводов измеренное значение $\operatorname{tg} \delta_x$ будет определяться как

$$\operatorname{tg} \delta_x = \frac{C_{\text{ц}} \operatorname{tg} \delta_{\text{м}} + C_{\text{м}} \operatorname{tg} \delta_{\text{ц}}}{C_{\text{ц}} + C_{\text{м}}} = \frac{\operatorname{tg} \delta_{\text{м}} + \frac{C_{\text{м}}}{C_{\text{ц}}} \operatorname{tg} \delta_{\text{ц}}}{1 + \frac{C_{\text{м}}}{C_{\text{ц}}}},$$

где $C_{\text{ц}}$ и $C_{\text{м}}$ — емкости соответственно бумажно-бакелитовых цилиндров и слоев масла;

$\operatorname{tg} \delta_{\text{ц}}$ и $\operatorname{tg} \delta_{\text{м}}$ — диэлектрические потери соответственно бумажно-бакелитовых цилиндров и слоев масла.

Поскольку масляный промежуток толще, чем слой твердой изоляции, то $C_{\text{м}} < C_{\text{ц}}$. Ориентировочно $C_{\text{м}} \approx 0,1 C_{\text{ц}}$, тогда

$$\operatorname{tg} \delta_x \approx \operatorname{tg} \delta_{\text{м}} + 0,1 \operatorname{tg} \delta_{\text{ц}}.$$

Обычно на монтаже тангенс угла диэлектрических потерь вводов не превышает 2% (при температуре 20° С). Тогда, принимая $\operatorname{tg} \delta_{\text{м}} = 0,4\%$, диэлектрические потери твердой изоляции ввода будут составлять $\operatorname{tg} \delta_{\text{ц}} = 16\%$. Следовательно, измерение диэлектрических потерь внутренней изоляции маслобарьерных вводов позволяет выявить дефектные бумажно-бакелитовые цилиндры, имеющие значительное увлажнение, и весьма хорошо оценивать качество залитого во ввод масла.

При измерениях оценка состояния вводов должна производиться не только по абсолютной измеренной величине $\operatorname{tg} \delta$, но и с учетом изменения тангенса угла диэлектрических потерь и емкости вводов по сравнению с паспортными и нормированными данными. Ориентировочные значения емкости вводов и проходных изоляторов даны в табл. 5.

Кроме измерения $\operatorname{tg} \delta$ и емкости основной изоляции C_1 , у маслонаполненных вводов с устройством ПИН рекомендуется производить аналогичные измерения изоляции измерительного конденсатора C_2 и последней обкладки относительно соединительной втулки $C_{\text{вт}}$.

Измерение емкости $C_{\text{вт}}$ производится для вводов с бумажно-масляной изоляцией и основано на предположении, что в случае увлажнения внутренней изоляции ввода наружные слои ее, находящиеся между обкладкой измерительного вывода и соединительной втулкой, в пер-

Таблица 5

Аппарат	Номинальное напряжение, кв	Основная емкость, пф
Прходной линейный изолятор типа ПБ-10	10	20
Прходной трансформаторный изолятор	35	35—50
Бакелито-бумажный ввод масляного бакового выключателя	35	120—240
Маслонаполненный ввод	110	200—250
	150	200—300
	220	500—600
	330—500	600—1 200

вую очередь воспримут влагу и это позволит по величине угла диэлектрических потерь получить характеристику процессов, происходящих в бумажной изоляции ввода.

Браковочные нормы для оценки состояния наружных слоев изоляционного остова вводов пока еще не установлены.

На величинах емкости и угла диэлектрических потерь наружных слоев изоляции может сказаться способ измерения. Так, в частности, чтобы полностью исключить влияние на характеристики C_2 у вводов, связанных с ошиновкой или обмоткой, при пользовании мостовым способом по перевернутой схеме следует подавать потенциал на стержень ввода (соединять с экраном схемы моста).

Расчеты показывают, что при применении схемы измерения аналогичной приведенной на рис. 18,а погрешность в измерении может достигнуть значительной величины. При такой схеме измерения, получившей весьма широкое распространение в эксплуатации, емкость C_2 измерительного конденсатора оказывается включенной параллельно плечу R_3 моста и ввиду ее значительной величины может вносить большую погрешность в измеренные результаты.

На рис. 19 показано, что применение схемы измерения, приведенной на рис. 18,а, может быть ограничено лишь вводами 110—150 кв.

При измерении вводов более высокого напряжения величина шунтирующей емкости (в данном случае C_2) достигает 70—120 C_1 и, вызывая большие погрешности

В измерении $\operatorname{tg} \delta$, требует применения дополнительных мер по их устранению или перехода к схеме измерения, приведенной на рис. 18,б. При этой схеме измерения весьма большая емкость C_2 , шунтирующая плечо R_3 мо-

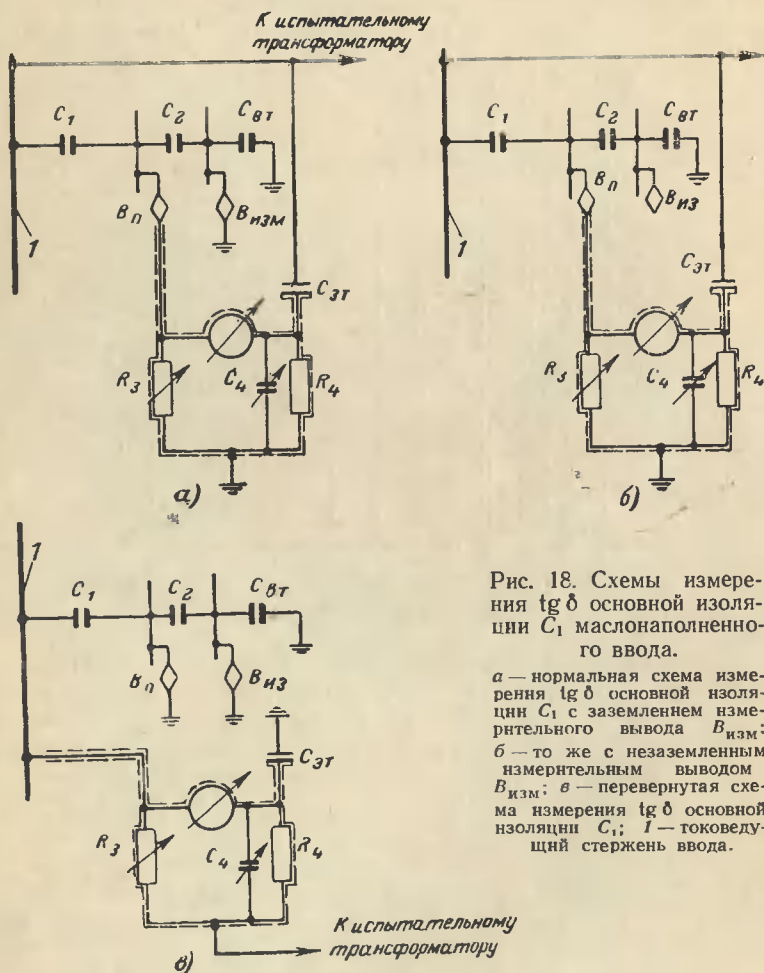


Рис. 18. Схемы измерения $\operatorname{tg} \delta$ основной изоляции C_1 маслонаполненного ввода.

а — нормальная схема измерения $\operatorname{tg} \delta$ основной изоляции C_1 с заземленным измерительным выводом $V_{изм}$; б — то же с незаземленным измерительным выводом $V_{изм}$; в — перевернутая схема измерения $\operatorname{tg} \delta$ основной изоляции C_1 ; I — токоведущий стержень ввода.

ста, оказывается включенной последовательно со сравнительно небольшой емкостью C_{BT} и поэтому суммарная емкость не будет вносить существенной погрешности в результаты измерения.

Кроме того, устранение погрешности за счет влияния емкости C_2 может быть достигнуто путем электрического соединения выводов B_{II} и $B_{изм}$, что приведет к шунтированию измерительного конденсатора ввода.

В тех случаях, когда осуществляется измерение $\text{tg } \delta$ основной изоляции C_1 маслонаполненных вводов с на-

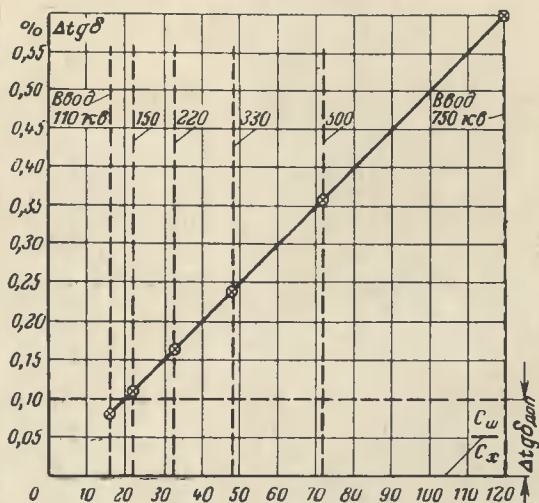


Рис. 19. Погрешность измерения $\text{tg } \delta$ при работе по нормальной мостовой схеме.

глухо заземленной последней обкладкой (рис. 18,в), что имеет место у вводов с потенциометрическим устройством, выпускаемых после 1964 г., для исключения влияния емкости C_2 взамен нормальной схемы измерения может быть применена перевернутая, причем перевернутая схема измерения может быть применена только в том случае, если испытание ввода производится до установки на оборудование и если с его токоведущим стержнем электрически не связаны различного рода емкости (например, емкости обмоток силовых трансформаторов и т. п.).

При измерении $\text{tg } \delta$ всей толщины изоляции ($C_1 + C_2$) маслонаполненных вводов старых выпусков, имеющих два вывода B_{II} и $B_{изм}$ от обкладок измерительного конденсатора ПИН, существенная погрешность может быть внесена в результаты измерения при низком сопротивлении изоляции вывода B_{II} .

Как видно из рис. 20, в этом случае емкость C_2 вместе с сопротивлением R_3 плеча моста оказывается зашунтированной паразитным сопротивлением R_{II} , что вызывает погрешность

$$\Delta \operatorname{tg} \delta' = \frac{1}{\omega R_{II} C_2}.$$

Измеренное значение диэлектрических потерь окажется равным:

$$\operatorname{tg} \delta_{\text{изм}} = \operatorname{tg} \delta_x - \Delta \operatorname{tg} \delta'.$$

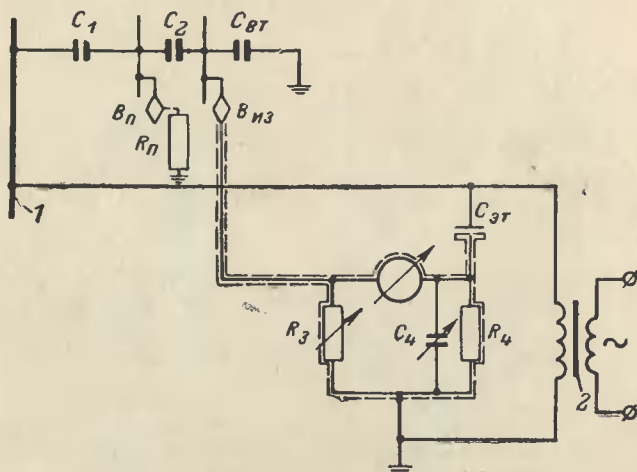


Рис. 20. Нормальная схема измерения $\operatorname{tg} \delta$ маслонаполненного ввода с потенциометрическим устройством.

1 — токоведущий стержень ввода; 2 — испытательный трансформатор.

Минимальная величина сопротивления изоляции вывода B_{II} , при которой погрешность в измерении $\operatorname{tg} \delta$ не превзойдет допустимой величины (0,1%), для вводов 110 кВ, составит:

$$R_{II} = \frac{1}{\Delta \operatorname{tg} \delta' \omega C_2} = \frac{1 \cdot 10^{12}}{0,001 \cdot 314 \cdot 3000} \approx 1000 \text{ Мом.}$$

Это показывает, что для обеспечения достаточной точности измерения необходимо поддерживать сопротивление изоляции измерительных выводов на весьма высоком уровне. В противном случае результат измерения будет существенно искажен вплоть до получения отрицательного значения $\operatorname{tg} \delta$.

В качестве иллюстрации на рис. 21 показано изменение погрешности $\Delta \text{tg } \delta'$ в зависимости от сопротивления изоляции измерительного вывода $B_{\text{п}}$.

Как следует из этого графика, для того, чтобы дополнительная погрешность измерения $\Delta \text{tg } \delta'$ не выходила за пределы 0,1%, необходимо, чтобы сопротивление изоляции измерительных выводов при измерении по нормальной схеме не опускалось ниже 1000 Мом для выводов 110 кв и ниже 40—50 Мом для выводов 500 кв .

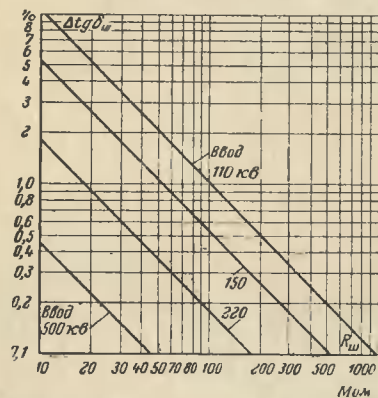


Рис. 21. Зависимость погрешности измеренного значения $\text{tg } \delta$ от величины шунтирующего сопротивления $R_{\text{ш}}$.

Таким образом, контролю состоянию изоляции измерительных выводов маслонаполненных вводов необходимо уделять должное внимание.

При измерении тангенса угла диэлектрических потерь маслонаполненных вводов при температуре, отличной от нормальной

(20° С), зачастую в условиях эксплуатации требуется производить температурный пересчет полученных величин. Необходимость в таком пересчете возникает при сравнении измеренных характеристик с нормами и с величинами, полученными при ранее проведенных измерениях.

В тех случаях, когда измерения проводятся при температурах, отличных от нормальных, а применение поправочных коэффициентов на температуру в силу ряда условий не рекомендуется, значение хода температурной зависимости позволяет все же в достаточной степени оценить состояние изоляции.

При температурном пересчете необходимо иметь в виду, что на ход температурной зависимости характеристики изоляции заметно влияет как состояние изоляции (степень увлажнения, длительность эксплуатации и т. п.), так и ее вид, технологические особенности изготовления и ряд других факторов. Вследствие этого температурный пересчет, в особенности если он производит-

ся для значительной разности температур, может вносить большие погрешности в результаты подсчета.

Результаты измерения могут быть также искажены неточностью в определении температуры самой изоляции. Поэтому определение температуры изоляции следует производить с возможно большей точностью ($2 \pm 3^\circ \text{C}$). Температура маслонаполненного ввода обычно определяется по температуре окружающего воздуха или, если измерениям предшествовал нагрев, по температуре масла, выпущенного из маслоотборной пробки.

Измерение характеристик изоляции при температурах ниже 0°C не может надежно выявить увлажнение и поэтому не отражает истинного состояния испытуемого объекта.

При крайней необходимости определить состояние изоляции в зимнее время, следует производить искусственный подогрев изоляции до температуры не ниже 5°C . Такое измерение, однако, может считаться достоверным лишь в том случае, если принятый метод прогрева позволяет обеспечить возможность измерения температуры с требуемой точностью. В противном случае измерение должно быть повторено с наступлением теплой погоды.

Измерения характеристик изоляции при температурах от 0 до 5°C рекомендуется избегать, поскольку в этом диапазоне температур наиболее вероятно получение ошибочных результатов за счет отпотевания изоляторов и других факторов.

Измеренное значение угла диэлектрических потерь для сравнения с нормами, если измерения производились при температуре ниже 10 или выше 30°C , пересчитывается к температуре 20°C .

Для сравнения со значениями, полученными при предыдущих измерениях, пересчет производится к температуре, при которой было произведено предыдущее измерение. Пересчет следует производить в следующих случаях.

а) Для маслонаполненных вводов с маслобарьерной изоляцией по кривой рис. 22.

Для того, чтобы измеренное значение угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta_t$ при сравнении с нормами привести к температуре 20°C , необходимо из кривых рис. 22 определить значение коэффициента для температуры, при которой было произведено измерение, и затем под-

считать значение $\operatorname{tg} \delta$, приведенное к температуре 20°C , по формуле

$$\operatorname{tg} \delta_{20} = K \operatorname{tg} \delta_t.$$

Приводимые кривые могут применяться для вводов, имеющих угол диэлектрических потерь не более 4—5%.

Пример. Данные измерения маслonaполненного ввода: $\operatorname{tg} \delta_t = 3\%$ при $t = 40^\circ \text{C}$.

При приведении к температуре 20°C

$$\operatorname{tg} \delta_{20} = K \operatorname{tg} \delta_t = 0,66 \cdot 3 = 1,98\%.$$

б) Температурный пересчет диэлектрических потерь маслonaполненных вводов с бумажно-масляной изоляцией обычно в энергосистемах не производится, поскольку отсутствуют достаточно проверенные поправочные коэффициенты на температуру.

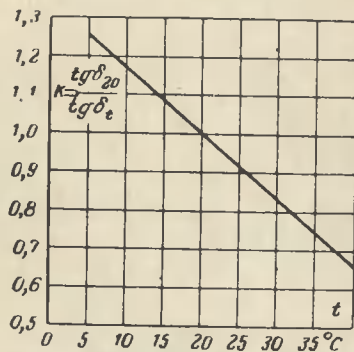


Рис. 22. Кривые поправочных коэффициентов $\operatorname{tg} \delta$ на температуру для маслonaполненных вводов с масляной изоляцией.

Температурная зависимость угла диэлектрических потерь таких вводов имеет U-образный характер.

Подобный ход температурной зависимости $\operatorname{tg} \delta$, как показали исследования, выполненные в отечественной и зарубежной практике, справедлив не только для маслonaполненных вводов с бумажной изоляцией, но и для

всех остальных конструкций высокого напряжения, имеющих идентичный вид изоляции (кабели, силовые конденсаторы и конденсаторы связи, трансформаторы тока типа ТФКН и т. п.).

Температурный пересчет $\operatorname{tg} \delta$ вводов с бумажно-масляной изоляцией в пределах практической точности может производиться по кривым рис. 23.

Для пересчета измеренной величины $\operatorname{tg} \delta$ к любой температуре поступают следующим образом: по оси абсцисс откладывают температуру испытуемого изолятора, а по оси ординат — измеренное значение угла диэлектрических потерь. Точка пересечения определяет кривую, по которой производится пересчет.

Если точка попала между кривыми, необходимое значение $\text{tg } \delta$ определяют путем интерполяции.

Пример. Данные измерения: $\text{tg } \delta = 2\%$ при $t = 40^\circ \text{C}$. При приведении к температуре 20°C $\text{tg } \delta_{20} = 1\%$.

Испытание повышенным напряжением. На монтаже и в эксплуатации испытание повышенным напряжением промышленной частоты получило распространение в основном для оценки состояния изоляции вводов и проходных изоляторов напряжением не выше 35 кв.

Для вводов и проходных изоляторов более высокого напряжения это испытание применяется лишь при наличии соответствующей испытательной установки. Время приложения испытательного напряжения вводов принимается равным 1 мин.

Ввод считается выдержавшим испытание, если при этом не наблюдалось пробоя, перекрытия, скользящих разрядов и частичных разрядов в масле, выделения дыма и газа, а также если после испытания не происходит местного нагрева изоляции.

Вводы, имеющие пониженное разрядное напряжение нижней части, до установки на оборудование испытываются повышенным напряжением при погружении последней в бак с маслом. Такой метод испытания исключает появление поверхностных разрядов и перекрытий.

Условия испытания электрической прочности вводов должны соответствовать указаниям по испытанию изоляции повышенным напряжением переменного тока.

Проверка герметичности маслonaполненных вводов. Помимо электрических испытаний вводов, рекомендуется осуществлять проверку их герметичности. Это вызвано тем, что наряду с некачественным уплотнением элементов вводов известны случаи отбраковки их из-за течи масла через поры и раковины

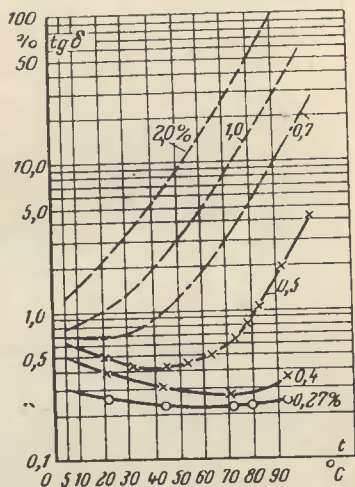


Рис. 23. Зависимость угла диэлектрических потерь бумажно-масляной изоляции от температуры.

в соединительных втулках и других литых элементах вводов.

Эти и им подобные дефекты могут быть обнаружены только при испытании вводов избыточным давлением масла или воздуха. В первом случае для проведения гидравлического испытания вывертывается маслоотборная пробка и взамен ее ввертывается специальный патрубок, присоединенный к шлангу гидравлического насоса.

Производится доливка ввода маслом, имеющим пробивное напряжение не ниже нормированного для данного класса изоляции оборудования.

Долливка производится до полного заполнения маслом расширителя, после чего заглушаются дыхательное отверстие и отверстие, через которое осуществлялось заполнение ввода (обычно пробки ДК или ВК).

Протирают поверхности ввода и удаляют следы масла в местах уплотнений. С помощью гидравлического насоса создается избыточное давление 1 ат.

Ввод считается выдержавшим испытание, если по истечении 30 мин не наблюдалось течи масла или снижения испытательного давления. Если при гидравлическом испытании ввода после достижения нормированного испытательного давления будет наблюдаться незначительное снижение последнего, то необходимо вновь довести давление до нормированной величины и тщательно осмотреть ввод.

По окончании гидравлического испытания ввода из него через маслоотборное устройство сливается излишек масла до тех пор, пока уровень масла в маслоуказателе не составит 60% высоты стекла при температуре масла 20°С. Затем сливается излишек масла из гидравлического затвора и восстанавливается нормальная работа последнего.

Если проверка герметичности вводов производится избыточным давлением воздуха, необходимо обернуть стекло маслоуказателя тканью на случай его разрушения при испытании, заглушить дыхательное отверстие в расширителе испытуемого ввода и взамен глухой пробки, предназначенной для доливки масла, в расширитель ввинчивается специальный штуцер.

К штуцеру через гибкий шланг подается сухой воздух под давлением от компрессора, ручного автомобиль-

ного или велосипедного насоса. Качество уплотнений проверяется при помощи мыльной воды.

После снятия избыточного давления производится внешний осмотр испытуемого ввода.

Заключительной операцией после проверки герметичности ввода является проверка сообщаемости по маслу отдельных его элементов (в основном маслоуказателя). Для этого из маслоотборного устройства сливается небольшая порция масла и фиксируется изменение уровня масла в указателе.

Опорные и подвесные изоляторы. Выявление дефектных изоляторов на монтаже или в процессе эксплуатации производится путем внешнего осмотра их поверхности и проведением одного из электрических испытаний, указанного ниже комплекса: повышенным напряжением промышленной частоты; измерение сопротивления изоляции мегомметром; проверка изоляторов с помощью штанги.

При внешнем осмотре изоляторов проверяются целостность фарфора и металлической арматуры (состояние армировочной замазки и влагостойкого покрытия); надежность армировки металлических деталей изоляторов (шапки, пестика, фланцев и т. п.); параллельность колпачка и фланца у опорных изоляторов и т. п.

Для штыревых и подвесных изоляторов проверяется также наличие зазора в шве армировки (между кромками шапки и тарелкой изолятора).

Для стеклянных изоляторов напряжением выше 10 кВ, изготавливаемых обычно из закаленного стекла, внешний осмотр заменяет собой электрические испытания. Последнее связано с тем, что возникновение какого-либо дефекта в закаленном стекле приводит обычно к разрушению изолятора. Поэтому оценка состояния стеклянных изоляторов производится путем их внешне-го осмотра.

Также необязательным проведение электрических испытаний считается и для опорностержневых фарфоровых изоляторов.

Наиболее характерными дефектами опорных и подвесных изоляторов являются сквозные или поверхностные трещины, пористость и повреждение глазури. Наиболее эффективным способом обнаружения этих и им подобных дефектов в изоляторах является испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

Испытание повышенным напряжением. Проведение испытания повышенным напряжением промышленной частоты обязательно для опорных одноэлементных изоляторов внутренней и наружной установки, а также рекомендуется для подвесных (тарельчатых) и опорных многоэлементных (штыревых) изоляторов.

Величина испытательного напряжения для опорных одноэлементных изоляторов принимается в соответствии с нормами, установленными для каждого класса изоляции электроустановки (ГОСТ 1516-60).

Что касается вновь устанавливаемых и эксплуатируемых подвесных и опорных многоэлементных изоляторов, то они подвергаются испытанию повышенным напряжением промышленной частоты, прикладываемым к каждому элементу изолятора. При испытании должен быть обеспечен хороший контакт в местах подвода испытательного напряжения к элементам изолятора, что достигается обычно наложением бандажа из голого гибкого провода на место армировки.

Для ускорения испытания изоляторов повышенным напряжением промышленной частоты в эксплуатации получили применение специальные пружинящие захваты, накладываемые на элементы испытываемых изоляторов в виде «гребенки». Для того чтобы облегчить в этом случае отыскание дефектного элемента, рекомендуется в каждый из захватов «гребенки» врезать специальные искровые промежутки с зазором 2—3 мм, вмонтированные в фарфоровые кольца (рис. 24).

В искровых промежутках исправных элементов при испытании повышенным напряжением обычно горит дуга емкостного тока (голубого цвета). При пробое элемента изолятора цвет дуги в искровом промежутке изменяется на красный за счет прохождения в цепи активного тока.

Пробой элемента цепочки изоляторов отмечается также по отклонению стрелки амперметра испытательной установки.

Изолятор считается выдержавшим испытание повышенным напряжением промышленной частоты, если при этом не происходило перекрытия его поверхности, пробоя фарфора или ненормально сильного коронирования.

Измерение сопротивления изоляции. В связи с трудоемкостью проведения испытания изоля-

тёров повышенным напряжением промышленной частоты и громоздкостью испытательной установки весьма широкое распространение получила оценка состояния изоляторов с помощью мегомметров, применяемых как в виде выносного прибора, так и встраиваемых в специальные штанги.

В последнем случае мегомметр состоит из следующих основных элементов, расположенных в штанге: сухой батарейки; прерывателя, схемы умножения напряжения, измерительного прибора.

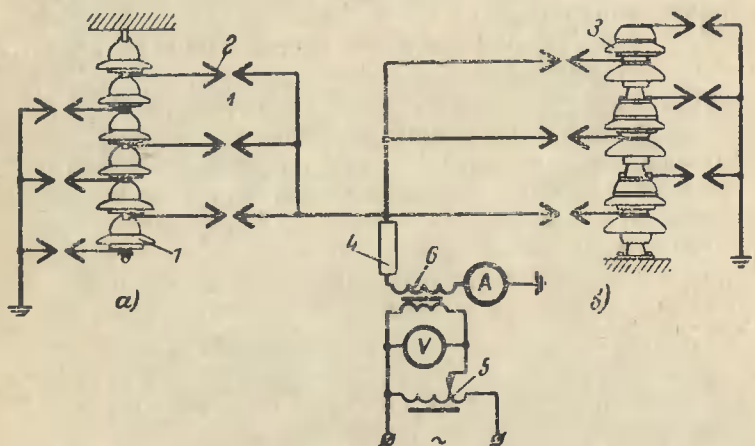


Рис. 24. Схема испытания изоляторов повышенным напряжением промышленной частоты.

a — подвесных; *б* — штыревых; 1 и 3 — испытываемые изоляторы; 2 — искровой промежутки; 4 — дополнительное сопротивление; 5 — регулятор напряжения; 6 — испытательный трансформатор.

Изолятор считается пригодным к эксплуатации, если сопротивление изоляции каждого из его элементов, измеренное мегомметром на 2500 в, составляет не менее 300 *Мом*.

Однако при применении мегомметра для оценки состояния изоляторов необходимо учитывать следующие факторы:

поверхность испытываемых изоляторов должна быть сухой и не иметь проводящих загрязнений. В противном случае может быть получено ложное представление о состоянии изоляторов;

измерения должны проводиться только при положительных температурах окружающего воздуха. Это тре-

бование вызвано тем, что влага, попавшая из окружающей среды в трещины фарфора изолятора, при отрицательных температурах замерзнет и превратится в лед, который является хорошим диэлектриком;

применение мегомметра не может быть рекомендовано для оценки состояния изоляторов, эксплуатируемых в районах с преобладанием в течение года сухой и жаркой погоды (например, районы Средней Азии). В этом случае наличие в фарфоре изоляторов даже сквозной трещины может быть не обнаружено мегомметром, поскольку ввиду отсутствия в трещине влаги ее поверхностное сопротивление может существенно превышать нормированное значение.

Проверка изоляторов штангой. Проверка состояния подвесных и многоэлементных изоляторов, находящихся в эксплуатации, как правило, производится с помощью специальных штанг. Принцип, положенный в основу принятых способов контроля, заключается в том, что колонку штыревых или гирлянду подвесных изоляторов можно рассматривать как цепочку последовательно включенных элементов малой емкости.

Емкость электродов цепочки по отношению к земле и токоведущим проводам может существенно искажать распределение емкостных токов, а следовательно, и равномерность распределения напряжения.

Дефект одного элемента при полном или частичном пробое также вызывает перераспределение напряжения по цепочке. На полностью шунтированном элементе разность напряжения будет равна нулю; при частичном пробое напряжения она лишь несколько снизится.

Измерение распределения напряжения может служить, таким образом, методом отыскания дефектов в изоляции, отчасти заменяет испытание высоким напряжением и не требует отключения оборудования, так как может быть произведено под рабочим напряжением.

Измерение распределения напряжения может производиться путем определения величины напряжения на отдельных элементах изоляторов относительно какой-либо одной определенной точки, например земли, или же путем измерения разности напряжений между двумя соседними точками изолятора. Наибольшее применение получил последний способ.

Широкое распространение получили четыре основных типа штанг: жужжащая; с постоянным искровым промежутком; с регулируемым искровым промежутком; с измерительным прибором.

Наиболее простыми являются штанги, получившие название жужжащей палки. Они представляют собой штангу из изолирующего материала, на конце которой укреплена металлическая вилка.

Штангу подносят к изолятору таким образом, чтобы один из щупов вилки коснулся одного из его электродов. При приближении другого щупа штанги ко второму электроду изолятора наблюдается искра. Если изолятор дефектен, т. е. между его электродами нет разности потенциалов, искра не появляется, что и дает возможность определить наличие или отсутствие напряжения.

Применение подобной штанги возможно лишь в тех случаях, когда при наличии одного дефектного элемента и шунтировании штангой другого в изоляции останется достаточный запас прочности.

Для того чтобы исключить возможность полного шунтирования изоляции, можно применять штанги, у которых между электродами включен разделительный конденсатор.

Штанга с постоянным искровым промежутком (конгрольная штанга) имеет шарнирную головку, укрепленную на верхнем конце изолирующей штанги. Головка снабжена двумя щупами, укрепленными на коромысле из изолирующего материала и связанными между собой через последовательно, друг за другом включенные неоновую лампу, разделительный конденсатор и искровой промежуток.

Расстояние между электродами искрового промежутка может изменяться только от руки с помощью винта.

Процесс испытания изоляции состоит в том, что, установив расстояние между электродами искрового промежутка в соответствии с наименьшим напряжением, допустимым для данного элемента изолятора, подносят штангу к изолятору, касаясь щупами его электродов.

Штанга с изменяющимся (регулируемым) искровым промежутком (измерительная штанга) отличается от штанги с постоянным искровым промежутком тем, что расстояние между электродами ее можно изменять во время измерения.

Штанга с изменяющимся (регулируемым) искровым промежутком дает возможность измерять разность напряжения.

Напряжение, прикладываемое к щупам, определяется путем сближения электродов искрового промежутка до возникновения разряда.

Расстояние между электродами искрового промежутка отсчитывается по шкале, градуировка которой выполнена непосредственно в киловольтах.

Сближение электродов выполняется путем поворота изолирующей части штанги вокруг своей горизонтальной оси. Контрольно-измерительные штанги подобной конструкции изготавливаются ЦВЛ Мосэнерго.

Штангой с изменяющимся искровым промежутком можно выявлять не только элементы изоляции, полностью потерявшие свою электрическую прочность, но и участки с изменившимися характеристиками.

На рис. 25 показан характер распределения напряжения по гирлянде исправных изоляторов и имеющих один дефектный элемент.

В последнее время освоен выпуск контрольно-измерительных штанг серии ШИ, в которых в качестве измерительного элемента использован милливольтметр с добавочным сопротивлением.

Штанги этой конструкции показали себя недостаточно надежными, поскольку при массовых измерениях изоляторов сравнительно маломощное добавочное сопротивление нагревается за счет проходящего через него тока, в результате чего нарушается градуировка измерительного прибора.

Силовые кабели. В эксплуатации широкое распространение получили силовые кабели с бумажной изоляцией, пропитанной маслоканифольными или другими вязкими составами. Такие кабели выпускаются на номинальное напряжение до 35 кВ как одножильными, так и трехжильными.

Силовые кабели на напряжение 20 и 35 кВ могут выполняться с отдельно свинцованными изолированными жилами.

Для проверки состояния изоляции силовых кабелей наибольшее распространение получило испытание их повышенным напряжением постоянного тока.

В последнее время в ряде энергосистем применяется испытание под нагрузкой силовых кабелей 6—10 кВ постоянно-переменным напряжением.

Перед проведением испытания повышенным напряжением постоянного тока кабельная линия должна быть обесточена и жилы ее отсоединены от оборудования (силовые трансформаторы и т. п.) и должен быть произведен внешний осмотр испытываемой кабельной линии.

При внешнем осмотре кабеля проверяются правильность прокладки и монтажа новых кабелей; состояние мастичных и сухих концевых разделок (концевые разделки не должны быть загрязнены, не должны иметь следов подтеков заливочной массы, трещин и вспучиваний последней, сколов изоляторов и т. д.); достаточность изоляционных расстояний между жилами кабеля и заземленными элементами. Затем производится осмотр каналов и туннелей, в которых пролегает испытываемая кабельная линия. Напряжение от мегомметра или выпрямительной установки подводится к одной из жил испытываемого кабеля. Остальные жилы испытываемого кабеля, а также все жилы других параллельных кабелей данного присоединения должны быть надежно соединены между собой и заземлены.

У трехжильных кабелей испытанию подвергается изоляция каждой жилы относительно металлической оболочки и других заземленных жил. У однофазных кабелей и кабелей с отдельно освинцованными жилами испытывается изоляция жилы относительно металлической оболочки. У кабелей с резиновой оболочкой или

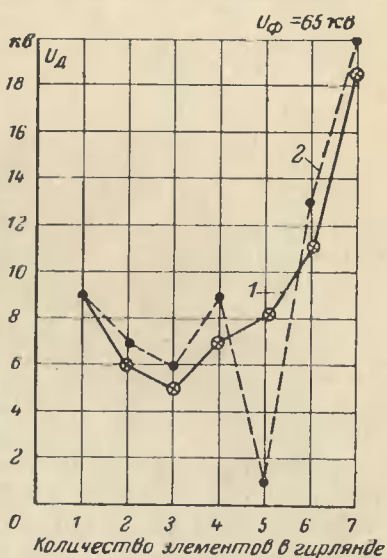


Рис. 25. Распределение напряжения по элементам гирлянды изоляторов.

1 — нормальное распределение напряжения; 2 — распределение напряжения при наличии дефекта в пятом элементе.

иным изолирующим покрытием испытанию подвергается изоляция каждой жилы относительно других заземленных жил.

Вместе с кабелем обычно испытываются также и опорные изоляторы ошиновки (до разъединителя).

В городских кабельных сетях испытанию при одновременном отключении могут подвергаться несколько кабельных линий, отходящих от подстанции, или цепочка последовательно соединенных кабельных линий с распределительными устройствами.

На станциях и подстанциях испытание групповых кабелей одного присоединения (генератор, трансформатор и др.) производится, как правило, вместе без отсоединения жил кабелей от сборных шин.

Оценка состояния силовых кабелей с рабочим напряжением до 1 000 в включительно производится путем приложения к ним испытательного напряжения от мегомметра на 2 500 в.

Перед проведением испытания силовых кабельных линий 3—35 кВ повышенным напряжением постоянного тока и после его завершения рекомендуется производить контрольную оценку состояния кабелей с помощью мегомметра.

Проверка кабелей мегомметром позволяет выявить лишь грубые, развитые дефекты (обрывы жил, заземление фаз и т. п.), а также различного рода упущения, допущенные при ремонтах кабелей (забытая закоротка, не снятый с концевых разделок обтирочный материал и т. п.).

Показания мегомметра не могут служить основанием для оценки состояния кабельной линии, поскольку в значительной степени зависят от длины испытуемого кабеля. Происходит это потому, что емкость силовых кабелей весьма значительна и за сравнительно короткий промежуток времени (15—60 сек) она не успевает полностью зарядиться. При этом показания мегомметра определяются не установившимся значением тока утечки, а зарядным током и поэтому во много раз меньше действительного.

Целью испытания повышенным напряжением постоянного тока является выявление дефектов в изоляции силовых линий, не обнаруженных мегомметром, путем доведения их до пробоя.

Принимаются уровни испытательного напряжения, указанные в табл. 6.

Таблица 6

Номинальное напряжение силового кабеля, кв		3	6	10	20	35
Испытательное напряжение кабеля, кв	Вновь вводимые кабели	18	36	60	100	175
	Кабели, находящиеся в эксплуатации	15—18	30—36	50—60	80—100	140—175

Продолжительность испытания каждой фазы кабеля принимается равной 10 мин для новых кабельных линий и 5 мин для кабелей, находящихся в эксплуатации.

Кабели 3—6 кв с резиновой изоляцией (марок ГТШ, КШЗ, КШВГ, КШВГЛ, КШВГД) испытываются в течение 5 мин напряжением постоянного тока, равным двукратному номинальному линейному напряжению кабеля. Испытание обычно производится с помощью установки (типов АКИ-50, АИИ-70 и др.), обеспечивающей однополупериодное выпрямление испытательного напряжения.

За счет значительной собственной емкости испытуемого силового кабеля происходит сглаживание пульсации выпрямленного напряжения и оно приближается по абсолютной величине к амплитудному значению.

Для измерения испытательного выпрямленного напряжения широкое применение в эксплуатации получил способ контроля с помощью вольтметра, включенного на первичной стороне испытательного трансформатора.

Класс точности применяемых вольтметров должен быть не ниже 2,5. Вольтметры должны выбираться с таким расчетом, чтобы измеряемые им величины находились в пределах от 20 до 95% шкалы измерительного прибора.

Подсчет величины испытательного напряжения с допустимой для практических измерений точностью производится путем умножения показания вольтметра, отсчитанного в эффективных значениях напряжения, на коэффициент трансформации. Поскольку выпрямленное напряжение определяется амплитудным значением, полученный результат необходимо увеличить в $\sqrt{2}$ раз.

Одним из источников погрешности измерения испытательного напряжения может быть падение напряжения в выпрямительной схеме, например в кенотронах.

Внутреннее сопротивление устройств лампового выпрямителя при нормальном накале невелико. При недокале лампы внутреннее сопротивление ее резко увеличивается, увеличивая тем самым внутреннее падение напряжения и снижая напряжение, приложенное к объекту. Поэтому при эксплуатационных испытаниях необходимо придавать значение режиму лампы и устанавливать контрольные приборы (вольтметр или амперметр) в цепи накального трансформатора.

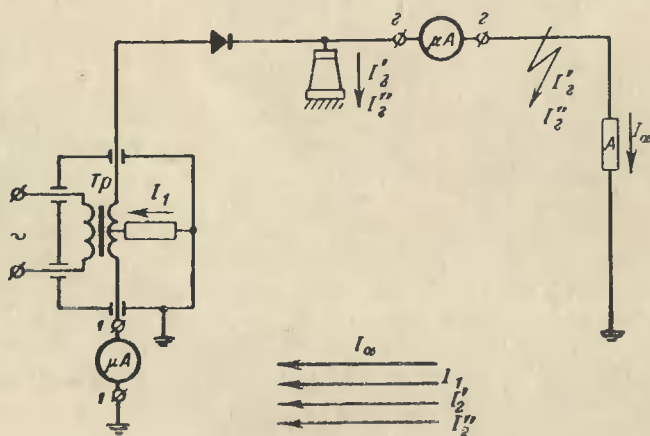


Рис. 26. Схема включения приборов при измерении тока утечки силовых кабелей.

A — объект испытания; *Tr* — трансформатор.

Дополнительным критерием оценки состояния изоляции кабельных линий является измерение тока утечки на выпрямленном (постоянном) напряжении.

Измерение тока утечки позволяет во многих случаях составить представление о характере дефекта в изоляции кабеля и степени его развития.

Для регистрации тока утечки проходящего через изоляцию испытуемого кабеля испытательная установка обычно снабжается микроамперметром.

Включение измерительного прибора в схему испытательной установки (рис. 26) возможно в точках 1—1 (обратная схема) и 2—2 (перевёрнутая схема).

При измерениях тока утечки возможны искажения отсчета, обусловленные паразитными токами. Основные паразитные токи могут быть следующие:

ток утечки между обмоткой испытательного трансформатора и его корпусом (ток I_1);

ток утечки I'_2 изоляции провода, подводящего испытательное напряжение к объекту, и ток короны, возникающей на этом проводе I''_2 .

Ток утечки I_1 при включении измерительного прибора по обратной схеме может быть частично отведен, если изолировать корпус трансформатора от земли и соединить его с выводом низкого напряжения помимо прибора.

При включении измерительного прибора по перевернутой схеме ток утечки I_1 замыкается помимо прибора.

Ток утечки I_2 , определяемый состоянием изоляции токоведущих частей испытательной установки, связывающих выпрямитель испытательной установки с объектом испытания, при включении прибора по обратной схеме не может быть исключен, а в том случае, когда прибор расположен на высоком напряжении и экранирован (перевернутая схема), замыкается помимо него.

Токи короны I''_2 начинают сказываться при испытательных напряжениях выше 20 кВ и могут быть снижены удалением частей, находящихся под высоким напряжением, от заземленных частей или путем их искусственной изоляции. Последнее применяется в большинстве случаев для снижения токов короны в концевых разделах испытуемого кабеля.

Для этого на жилы кабеля надевают изолирующие колпаки (стеклянные, резиновые, пластмассовые) или специальные экраноизолирующие гильзы, обеспечивающие практически полное экранирование измерительных цепей выпрямительной установки. При обратной схеме включения прибора выпрямительной установки токи короны не исключаются.

Полное исключение этих токов возможно только путем экранирования прибора и провода, связывающего его с объектом испытания, что может быть выполнено при применении перевернутой схемы измерения.

Таким образом, схема включения прибора по обратной схеме (в точках 1—1) является наименее совершенной.

В тех случаях, когда испытания силовых кабелей повышенным напряжением постоянного тока производятся в условиях, при которых возможны значительные и частые толчки напряжения питания (на строительстве; в сети с двигателями, имеющими большие пусковые токи, и т. п.), отсчет показания микроамперметра высоковольтной цепи испытательной установки может производиться с большими погрешностями.

Последнее определяется тем, что при колебаниях выпрямленного напряжения, подводимого к кабелю, в изоляции последнего происходят зарядно-разрядные процессы, вызывающие значительные колебания стрелки микроамперметра. Во избежание этого необходимо испытательную установку питать напряжением от стабилизирующего устройства.

Применяемый в отдельных случаях расчетный метод исключения ошибки от паразитных токов заключается в следующем.

Производятся измерения тока утечки объекта вместе с паразитными токами, а затем повторное измерение, когда объект отсоединен от схемы и отсчитываются только паразитные токи (утечки схемы). Вычитанием тока, полученного при втором измерении, из тока, полученного при первом измерении, можно получить ток объекта.

Расчетный метод неудобен тем, что малейшее изменение расположения проводов при одном измерении может вызвать большие изменения паразитных токов, что исказит результаты измерения.

Помимо этого, при применении метода вычитания возможна еще ошибка из-за изменения глубины пульсации выпрямленного напряжения.

Так, например, при испытании силового кабеля, имеющего обычно значительную емкость, выпрямленный ток сильно сглажен, а при втором измерении, когда объект отсоединен в схеме, емкость отсутствует и глубина пульсации возрастает. Это и явится причиной дополнительной, зачастую не учитываемой погрешности.

При испытании силовых кабельных линий повышенным напряжением постоянного тока оценка их состояния производится не только по абсолютному значению тока утечки, но и путем учета характера изменения тока утечки во времени, асимметрии токов утечки, сохранения и спада заряда и т. п.

В эксплуатации принято, что кабельная линия может быть введена в работу, если измеренные токи утечки имеют стабильное значение, но не превосходят 500 мка для линий с номинальным напряжением до 10 кв и 800 мка для линий 20—35 кв.

Оценку изоляции кабельной линии по коэффициенту асимметрии рекомендуется производить в том случае, если измеренные величины токов утечки близки к браковочным данным.

На основании опытных данных принято, что коэффициент асимметрии, т. е. отношение максимального значения тока утечки к минимальному для разных жил силового кабеля, не должен превышать 1,5—2,0.

Для исправной изоляции силового кабеля ток утечки спадает в зависимости от длительности приложения испытательного напряжения и тем больше, чем лучше качество изоляции. У силового кабеля с дефектной изоляцией ток утечки увеличивается по времени.

При заметном нарастании тока утечки при испытании силового кабеля продолжительность испытания увеличивается до 10—20 мин. При дальнейшем нарастании тока утечки, если оно не вызвано дефектами концевых разделок, испытание должно вестись до пробоя изоляции кабеля.

Поскольку в большинстве случаев дефектами концевых разделок является поверхностное увлажнение, которое сравнительно легко может быть устранено, при получении в процессе испытания силового кабеля завышенных токов утечки должны быть приняты меры к определению состояния изоляции концевых разделок.

Если испытываемый кабель имеет сухие концевые разделки, то для выделения поверхностных токов утечки, проходящих по жилам разделки, необходимо на концы жил наложить охранные кольца. Последние представляют собой полоски шириной 10 мм, выполненные из металлической фольги или гибкого медного провода.

Охранные кольца накладываются на жилы испытуемого кабеля примерно на расстоянии 100—150 мм от места разделки жил, если они связываются с потенциалом земли, и на таком же расстоянии от наконечников жил, если к ним подводится высокое напряжение от экрана схемы.

При испытании одиночного кабеля измерение поверхностных токов утечки концевых разделок может производиться по схеме рис. 27.

Если количество испытываемых кабелей составляет два и более, то для измерения поверхностных токов утечки концевых разделок может быть использована перевернутая схема. При этом охранное кольцо, наложенное на жилу концевой разделки, расположенной вблизи испытательной установки, соединяется непосредственно с экраном схемы.

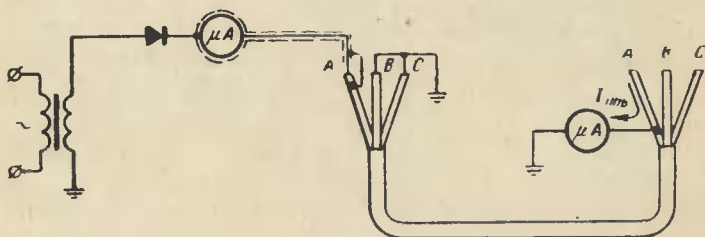


Рис. 27. Схема измерения поверхностных токов утечки концевых разделок силовых кабелей.

Для соединения с экраном схемы дальней концевой разделки используется одна из жил свободного кабеля.

Применение охранных колец не позволяет выявлять дефекты внутренней изоляции металлических концевых муфт. Для выявления таких дефектов необходимо произвести измерение тока утечки, подтекающего к корпусу муфты.

Такое измерение осуществимо, если металлическая воронка и концевая муфта кабеля имеют раздельное заземление и изоляцию относительно брони кабеля не менее 5—10 ком. Изоляция между шейкой воронки или муфты выполняется обычно в виде нескольких слоев смоляной ленты.

При испытании одиночного кабеля каждую из изолированных таким способом муфт или воронок через микроамперметры соединяют с заземленной оболочкой кабеля (рис. 28).

Определяя по микроамперметру 1 суммарный ток кабеля, а по микроамперметрам 2 и 3 — токи утечки концевых разделок, вычисляют ток, проходящий через изоляцию кабеля. При оценке состояния изоляции муфт

целесообразно также сравнивать между собой токи утечки концевых разделок.

При испытаниях выпрямленным напряжением силовых кабелей следует иметь в виду, что заряженная до испытательного напряжения емкость кабеля имеет большой запас энергии, которая при мгновенном разряде может привести к разрушению аппаратуры или частей испытательной установки.

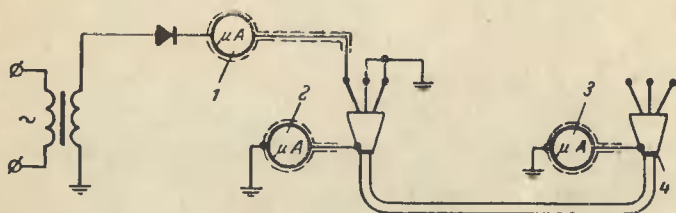


Рис. 28. Схема измерения тока утечки силового кабеля с выделением токов утечки по концевым муфтам.

1—3 — микроамперметры; 4 — изоляция воронки относительно брони кабеля.

Заряд емкости даже после кратковременного наложения заземления может сохраняться длительно и представлять опасность для жизни персонала. Поэтому после того как испытуемый объект разряжен с помощью разрядного устройства, он должен быть наглухо заземлен.

Снятие заряда с испытуемого объекта должно производиться таким образом, чтобы разрядный ток не проходил через измерительный прибор. Так, например, при включении измерительного прибора по перевернутой схеме разрядное устройство должно присоединяться одним концом к заземляющей проводке, а вторым — непосредственно к объекту испытания. Сечение заземляющего проводника должно быть не менее 4 мм^2 .

Для снятия заряда с испытуемых кабелей используются заземляющие штанги, в электрическую цепь которых включается сопротивление.

Величина сопротивления обычно принимается в пределах $5\,000$ — $50\,000 \text{ ом}$. При выборе разрядных сопротивлений необходимо учесть, что длина пути по поверхности сопротивлений должна быть такой, чтобы не мог возникнуть разряд по поверхности заземляющей штанги.

В качестве разрядных сопротивлений применяют наполненные водой резиновые или им подобные трубки,

а также объемные сопротивления, изготовленные из смеси графита и цемента.

Изоляция силового кабеля считается выдержавшей испытание, если не произошло пробоя или перекрытия изоляции; не было отмечено частичных нарушений изоляции, выявленных по показанию измерительного прибора.

ЛИТЕРАТУРА

Хомяков М. В., Профилактические испытания высоковольтного оборудования, Госэнергоиздат, 1957.

ГОСТ 10169-62.

Объем и нормы испытания электрооборудования, изд-во «Энергия», 1964.

Методические указания по проведению испытаний высоковольтного оборудования, изд. ОРГРЭС, 1960.

Локшин М. В., Сви П. М., Измерение диэлектрических потерь высоковольтной изоляции, изд-во «Энергия», 1966.

Испытание изоляции повышенным напряжением переменного тока, Госэнергоиздат, 1958.

Испытание изоляции повышенным напряжением выпрямленного тока, изд-во «Энергия», 1964.

АППАРАТУРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Испытательные трансформаторы

Тип	Номинальное напряжение обмоток, кВ		Номинальная мощность, кВа	Напряжение короткого замыкания, %	Размеры, мм		Вес, кг	
	низшего напряжения	высшего напряжения			диаметр	высота	общий	масла
ТВО-140-50	0,19	100±2,5	5 (кратковременная)	—	350	1 070	150	50
ИОМН-100/20	0,2	100	20	—	648	1 420	525	170
ИОМ-100/25	0,2	100	25	10	2 166	5 500	20 000	7 700
ИОМ-300	6,3	300	300	4,2—6,5	2 566	6 000	31 000	11 000
ИОМ-500	3 или 6	500	500	3,6—6,4				

МОСТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Тип	Назначение	Наибольшее испытательное напряжение, кВ	Пределы измерений по tgδ, %	Пределы измерений по емкости, пФ	Наибольшая погрешность	
					по tgδ	по емкости
МД-16	Технический мост переменного тока переносный для измерения по нормальной и перевернутой схемам	10	0,5—60	30—4·10 ³ 0,3·10 ³ —100·10 ⁶	±10%	±5%
Р-525	Лабораторный мост переменного тока для измерения по нормальной схеме	10	0,01—100	40—20·10 ³	±1,5%+6·10 ⁻⁵	±0,5%+ ±5 пФ
ИДП-2М	Техническая установка для измерения по нормальной и перевернутой схемам на частоте 25 Гц	1	0,3—40	50—50·10 ³	$\left(\frac{0,03}{\text{tg}\delta} + 10\right) \%$	±5%

ФАЗОРЕГУЛЯТОРЫ

Тип	Мощность, кв а	Номинальное напряжение, в		Ток, а	
		первичное	вторичное	первичный	вторичный
МАФ-22	0,2	220	220	—	1,0
	0,5	220/380	220/380	2,9/1,7	1,3/0,8
ФР-41		127/220	227/220	5/2,9	2,3/1,3
ФР-89-2	0,5	220/380	127/220	2,3/1,3	4/2,3

Продолжение

Тип	Наибольший угол поворота вторичного напряжения относительно первичного, <i>эл. град</i>	Размеры, мм			Вес, кг
		длина	ширина	высота	
МАФ-22	360	430	230	160	16
ФР-41	120	325	310	400	45
ФР-89-22	120	—	180	240	16

Аппараты для определения пробивного напряжения трансформаторного масла. В настоящее время промышленность взамен устаревшей модели установки АМИ-60 выпускает испытательный аппарат АИИ-70, предназначенный для определения пробивного напряжения трансформаторного масла.

Аппарат типа АИИ-70 имеет следующие технические характеристики:

- напряжение питающей сети — 127 и 220 в;
- испытательное переменное напряжение — 50 кВ_{действ};
- испытательное выпрямленное напряжение — 70 кВ_{действ};
- одноминутная мощность испытательного трансформатора — 2 кв а;
- наибольший выпрямительный ток — 5 ма;
- общий вес аппарата — 175 кг.

Испытательный аппарат типа АИИ-70 состоит из двух основных элементов: пульта управления и кенотронной выпрямительной приставки.

Сосуды для определения тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторного масла. Промышленность в настоящее время не выпускает сосуды для измерения тангенса угла диэлектрических потерь жидких диэлектриков. Наибольшим сериам такие сосуды выпускаются мастерскими ОРГРЭС и Мосэнерго.

Наибольшее распространение получил сосуд с горизонтальным расположением электродов, который обеспечивает электрическую емкость 70 пф, зазор между электродами 3 мм, испытательное напряжение 3 кв, объем испытуемого масла 100 см³.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Общие методические указания по проведению высоковольтных испытаний	4
2. Испытания оборудования высокого напряжения	7
Литература	68
Приложение	69

Цена 13 коп.