

И.А. Якобсон

**Испытания переключающих
устройств силовых
трансформаторов**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 62-63
ББК 30.6
И11

И11 **И.А. Якобсон**
Испытания переключающих устройств силовых трансформаторов / И.А. Якобсон – М.: Книга по Требованию, 2021. – 57 с.

ISBN 978-5-458-75070-7

В брошюре кратко изложены принципы регулирования напряжения силовых трансформаторов, приведены конструктивные особенности различных переключающих устройств. Даны рекомендации по наладке и испытанию наиболее распространенных переключающих устройств, включая новейшие быстродействующие устройства, применяемые в силовых трансформаторах напряжением до 750 кв включительно. Брошюра предназначена для монтеров и мастеров, занятых монтажом, наладкой и эксплуатацией силовых трансформаторов на электрических станциях и в электрических сетях.

ISBN 978-5-458-75070-7

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

Устройства РПН с активными токоограничивающими сопротивлениями должны обеспечивать безаварийную работу трансформатора в случае прекращения начавшегося процесса переключения (отказа приводного механизма).

Все переключающие устройства ПБВ и РПН должны выдерживать все виды и режимы испытаний, принятые для трансформаторов, и иметь изоляцию, не ухудшающую изоляционные характеристики трансформатора в целом.

В приводе устройств РПН должна предусматриваться блокировка от дистанционного переключения устройства при токе, превышающем двойной номинальный ток трансформаторов, а в устройствах ПБВ должна быть четкая фиксация положения и блокировка от переключений под напряжением.

Переключающие устройства РПН масляных трансформаторов должны нормально работать при температуре верхних слоев масла в трансформаторе от минус 20°С и выше, а при размещении переключающего устройства отдельно вне бака трансформатора — при температуре окружающего воздуха от минус 45°С и выше (в некоторых случаях по требованию заказчика от минус 65°С).

Чтобы убедиться в выполнении предъявляемых к нему требований, переключающее устройство испытывают отдельно и вместе с трансформатором.

Испытания переключающих устройств трансформатора

Переключающие устройства испытываются на заводе, в процессе пуско-наладочных работ перед включением и в эксплуатации после ремонта или после производства гарантированного для данного типа числа переключений. Эти испытания разделяются на типовые и контрольные.

Типовые испытания производятся при разработке и изготовлении новых переключающих устройств, модернизации существующих типов; контрольным испытаниям подвергается каждое переключающее устройство при выпуске с завода, ремонте, наладке и в эксплуатации.

В брошюре методика испытаний устройств переключе-

чения ответвлений обмоток трансформатора излагается применительно к контрольным испытаниям согласно требованиям пуска-наладочных работ.

Контрольные испытания переключающих устройств включают измерение переходного сопротивления контактов, измерение силы контактного нажатия, испытание изоляции, проверку последовательности действия контактов, проверку работы отдельных элементов и их взаимодействия в механизме привода. Измерение силы контактного нажатия производят, как правило, лишь после ремонта контактной системы, контроль изоляции— вместе с трансформатором.

Переходное сопротивление постоянному току измеряется после ремонта или при ревизии переключающего устройства. Измерение производится методом падения напряжения или при помощи приборов, непосредственно измеряющих величину электрического сопротивления (микроомметра или двойного моста Томсона).

Ток в электрической цепи при этом не должен превышать $1/3$ номинального тока контактов. Сопротивление контактов измеряется в той среде, в которой они нормально работают, т. е. перед измерениями контакты надо смазывать трансформаторным маслом.

У контактов с несколькими разрывами измеряется сначала переходное сопротивление для каждого разрыва в отдельности, затем— общее сопротивление всего контакта. Это позволяет выявить дефектное контактное соединение, которое может быть не выявлено, если измерять только переходное сопротивление всего контакта в целом.

Так как величина переходного сопротивления контакта зависит от многих причин (материала, формы, площади контакта, величины силы контактного нажатия и др.), величина переходного сопротивления ГОСТ не нормируется, но разброс измеренных значений должен быть не более $\pm 30\%$ среднего арифметического всех измерений. За величину переходного сопротивления контакта принимают наибольшую измеренную величину не менее чем трех измерений.

Как показал опыт эксплуатации, переходное сопротивление единичного контакта, измеренное микроомметром, например типа М-246, находится в пределах 10—20 *мком*.

Измерение переходного сопротивления методом падения напряжения производится по схеме на рис. 1, а. Проверяемый контакт включается в цепь постоянного тока, величина которого измеряется амперметром, а величина падения напряжения на контакте измеряется вольтметром, переносные щупы которого закрепляются непосредственно у контакта. В качестве приборов могут быть использованы амперметр и вольтметр типа М-80 класса 0,5. Показания приборов снимаются лишь после полного успокоения указателя приборов, т. е. когда показания приборов не будут изменяться более чем на одно деление шкалы в течение 1 мин.

Для получения точной величины переходного сопротивления при измерении его методом падения напряжения отсчет показаний амперметра и вольтметра берется одновременно, и величина сопротивления подсчитывается как отношение величины падения напряжения, измеренной вольтметром на контакте, к величине тока, проходящего через цепь контакта в момент измерения падения напряжения.

Пример. Величина тока в цепи при измерении составила по амперметру 20 а. Падение напряжения при этом на контакте, измеренное вольтметром, оказалось 0,3 мв. Величина переходного сопротивления контакта будет при этом:

$$\frac{0,3 \cdot 10^{-3}}{20} \frac{в}{а} = 15 \cdot 10^{-6} \text{ ом} = 15 \text{ мком.}$$

Мост или микроомметр для измерения переходного сопротивления контакта включается в цепь аналогично (рис. 1, б). Эти приборы имеют, как правило, зажимы, маркированные +Т и -Т, к которым подсоединяются соответственно плюс (+) и минус (-) источника пита-

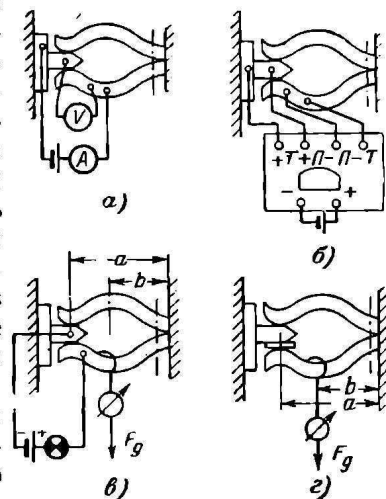


Рис. 1. Проверка контактов переключающего устройства.

а — измерение переходного сопротивления методом падения напряжения; б — то же микроомметром; в — измерение силы контактного нажатия при помощи сигнальной лампы; г — то же при помощи щупа.

ния (например, аккумуляторная батарея типа НКН-45 до 24 в). Для регулирования величины тока последовательно с проверяемым контактом включают реостат. Для измерения падения напряжения потенциальные концы прибора подсоединяются к двум другим зажимам, обычно маркируемым +П и —П.

Шкала прибора отградуирована обычно в омах или долях ома (миллиом, микроом), поэтому отсчет по прибору дает величину переходного сопротивления контакта, измеренную с точностью (классом точности) данного прибора.

Независимо от схемы измерения сопротивления потенциальные концы для измерения величины падения напряжения должны быть короче (лучше порядка 0,5 м) и иметь малое по сравнению с сопротивлением контакта собственное сопротивление (в 100 раз меньше), чтобы не вносить дополнительную погрешность при измерении.

Измерение силы контактного нажатия производится при ревизии или ремонте переключающего устройства или отдельных его контактных соединений избирателя, предызбирателя или контактора.

Согласно ГОСТ 8008-67 проверке подлежат все подвижные контакты переключающего устройства, причем при наличии параллельных контактов измерения производятся для каждого контакта в отдельности. Если в процессе ревизии контактная система не ремонтировалась, измерение силы контактного нажатия производится выборочно на нескольких контактах. По получении при этом хотя бы одного неудовлетворительного результата измерения выполняют для всех контактов в обязательном порядке.

Для определения силы контактного нажатия динамометром измеряют минимальное значение силы, при котором контакт отжимается. Момент разрыва контакта определяется по погасанию сигнальной лампы, включенной последовательно с ним (рис. 1,а), либо по освобождению зажатого между контактами щупа или бумажной прокладки толщиной не более 0,1 мм (рис. 1,б).

При этом испытании сила должна быть направлена вдоль силы контактного нажатия, при невозможности выполнения этого условия сила может прикладываться с отклонением от направления контактного нажатия, но с обязательным пересчетом результатов измерения силы

контактного нажатия с направления, при котором производились измерения, на направление действительной силы контактного нажатия.

Истинное усилие F для контактов (контактное давление) подсчитывается по формуле

$$F = F_{\text{д}} \frac{b}{a},$$

где $F_{\text{д}}$ — показание динамометра в момент размыкания цепи, $\kappa\Gamma$;

a — расстояние от контакта до точки опоры, мм ;

b — расстояние от места зацепления динамометра до точки опоры, мм .

За величину силы контактного нажатия принимают среднее арифметическое значение из трех измерений. Разброс в измерениях должен быть не более $\pm 10\%$ от среднего значения.

Проверка последовательности действия контактов производится у всех переключающих устройств с регулированием напряжения под нагрузкой. В медленно действующих устройствах типа РНТ для этого снимается круговая диаграмма, у быстродействующих устройств типа РНОА, РНТА и тому подобных, кроме снятия круговой диаграммы, осциллографируется процесс работы контактора.

Последовательность действия контактов переключающего устройства снимают при одном обороте выходного вала приводного механизма независимо от числа переключений контактов избирателя при этом. Поэтому диаграмма действия контактов переключающего устройства и называется круговой диаграммой.

Круговая диаграмма снимается на переключающем устройстве, полностью собранном и смонтированном на трансформаторе. Она может быть снята и до монтажа устройства на трансформаторе, если это устройство собирается независимо от трансформатора (например, типа РНОА), но в этом случае она является контрольной диаграммой, подтверждающей правильность сборки и регулировки избирателя, предызбирателя и контактора переключающего устройства после ревизии или ремонта. У трехфазных переключающих устройств круговая диаграмма снимается пофазно или одновременно для трех фаз.

Круговая диаграмма снимается у переключающих устройств, обычно залитых маслом, но допускается сня-

тие круговой диаграммы производить на переключающих устройствах, не находящихся в трансформаторном масле.

Для переключающих устройств с токоограничивающими реакторами и отдельным контактором (например, типа РНТ-13) круговая диаграмма снимается при одном полном обороте выходного вала привода по часовой и против часовой стрелки; у переключающих устройств с токоограничивающими сопротивлениями (например, типа РНОА) круговая диаграмма снимается при переключении контактов избирателя на два положения независимо от числа поворотов выходного вала привода: в зависимости от конструкции приводного механизма для этого может потребоваться 1, 5 или 10 оборотов.

Для переключающих устройств без контакторов (например, РНТ-9) круговая диаграмма снимается на всем диапазоне регулирования напряжения, т. е. от первого положения избирателя до последнего в двух направлениях (прямом и обратном).

При наличии реверсирования регулировочной обмотки круговая диаграмма снимается в том диапазоне регулирования, в котором переключаются контакты предызбирателя (реверсора).

Круговую диаграмму снимают методом сигнальных ламп или методом осциллографа.

Метод сигнальных ламп, как более простой, получил широкое распространение; к тому же этот метод не требует специальной квалификации персонала, производящего наладку переключающих устройств. Электрическая часть схемы собирается так, чтобы в моменты замыкания или размыкания контактов избирателя, предызбирателя или контактора загорались или погасали сигнальные лампы или показывающие приборы, например омметр.

Метод осциллографа для снятия круговой диаграммы используется в основном при наладке переключающих устройств в условиях стационарных мастерских, где для этого смонтированы специальные стенды и имеется специально обученный персонал. На монтажной площадке метод осциллографа применяется реже. При снятии круговой диаграммы используется обычно магнитоэлектрический переносный осциллограф (например, типа Н-102, МПО-2 и т. п.). Настройка

осциллографа выполняется таким образом, чтобы моменты срабатывания контактов переключающего устройства вибраторы отмечали на осциллограмме. Для питания цепи вибраторов лучше всего при этом использовать источник постоянного тока до 2 а, до 24 в.

Отсчет угла поворота приводного вала переключающего устройства производится по вибратору, включенному в цепь через так называемый регистратор хода, который представляет собой изолирующую рейку с нанесенным на ней через равные промежутки металлическими контактами. При испытании время срабатывания и продолжительность действия отдельных контактов вычисляются по кривой регистратора хода и отметчику времени. Отметчик времени работает с частотой 500 гц (время одного периода 0,002 сек). Если отметчика времени нет, используется кривая напряжения промышленной частоты 50 гц (время одного периода 0,02 сек). Точность подсчета по осциллограмме будет в этом случае меньшей.

При контрольных испытаниях, проводимых в процессе наладочных работ, осциллографирование последовательности действия контактов переключающего устройства производится без регистратора хода. У быстродействующих переключающих устройств осциллографирование работы контактов контактора и осциллографирование работы контактов переключающего устройства производится раздельно (рис. 2). Это объясняется тем, что время действия контактов переключающего устройства измеряется секундами, а время работы контактов контактора — миллисекундами, поэтому скорость осциллографирования практически различна для контроля контактов избирателя и предызбирателя, с одной стороны, и контактов контактора, с другой стороны.

Рассмотрим типовую круговую диаграмму переключающего устройства (рис. 3). На диаграмме обозначены:

α — угол поворота вала от нормального положения до момента размыкания главного контакта или от момента замыкания его до нормального положения;

β — угол поворота вала от момента размыкания главного контакта до момента размыкания дугогасительного контакта или от момента замыкания дугогасительного контакта до момента замыкания главного контакта;

γ — угол поворота вала от момента размыкания контакта дугогасительного до момента размыкания контакта избирателя или от момента замыкания контакта избирателя до момента замыкания дугогасительного контакта;

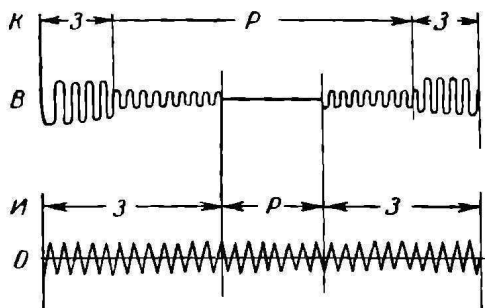


Рис. 2. Осциллограмма работы контактов переключательного устройства.

В — кривая, записанная вибратором; *И* — положение контактов избирателя; *К* — положение контактов контактора; *О* — отсчетчик времени; *З* — контакты замкнуты; *Р* — контакты разомкнуты.

Δ — угол поворота вала от момента размыкания контакта избирателя до момента размыкания контакта предызбирателя или от момента замыкания контакта предызбирателя до момента замыкания контакта избирателя.



Рис. 3. Типовая круговая диаграмма.

И — контакт избирателя; *ПИ* — контакт предызбирателя; *ГК* — главный контакт контактора; *ДК* — дугогасительный контакт контактора.
 ■ — замкнут, □ — разомкнут.

Величина угла α должна обеспечивать полное замыкание главного контакта в нормальном положении во избежание нарушения его качества в эксплуатации. Угол α определяется конструктивными особенностями переключательного устройства и различен по величине для разных переключательных устройств.

Величина угла β должна исключать в процессе эксплуатации переключающего устройства одновременное замыкание или размыкание главных и дугогасительных контактов вследствие износа дугогасительного контакта и уменьшения величины угла β до нуля. Это недопустимо, так как главный контакт не предназначен для разрыва цепи тока.

Величина угла γ во всех случаях должна быть такой, чтобы исключить возможность появления дуги на контактах избирателя.

Аналогично величина угла Δ определяется требованием недопустимости появления дуги на контактах предызбирателя, так как его контакты работают так же, как контакты избирателя.

Если бы все сочленения были в переключающих устройствах жесткими, при снятии круговой диаграммы в двух направлениях (прямом и обратном) углы α , β , γ и Δ были одинаковы. Но из-за наличия люфтов, т. е. зазора между сопряженными поверхностями частей и звеньев механизма переключения и привода, круговые диаграммы в разных направлениях получаются не одинаковыми, сдвинутыми на величину угла люфта. Угол люфта — это угол, на который необходимо повернуть вал привода для выбора всех зазоров (люфтов). Поэтому для устранения люфтов при снятии круговой диаграммы предварительно поворачивают механизм в ту же сторону, к какую его будут вращать при снятии диаграммы.

Испытание изоляции переключателя и токоограничающего реактора.

Испытание изоляции переключающего устройства производится высоким напряжением переменного тока по следующим схемам:

- а) между соседними неподвижными контактами;
- б) между неподвижными и подвижными контактами;
- в) между половинами сдвоенного избирателя;
- г) между контактной системой и заземленным корпусом;
- д) между фазами.

Для испытания переключающее устройство опускается в отдельный бак, залитый трансформаторным маслом с электрической прочностью не менее 20 кВ (ГОСТ 8008-67). Испытания начинаются не ранее чем через 1—2 ч после погружения переключающего устройства

в масло и проводятся согласно требованиям ГОСТ 1516-60.

При испытании наблюдают за появлением и выделением газовых пузырьков, ибо они указывают на наличие разрядов, которые испытатель может и не заметить.

Переключающее устройство считается выдержавшим испытание, если не замечено выделения пузырьков газа и отсутствуют какие-либо слышимые или видимые разряды, приведшие к пробое или повреждению изоляции устройства. В процессе испытания допускаются единичные разряды в масле, не вызывающие изменения режима в испытательной установке.

2. УСТРОЙСТВА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ОТВЕТВЛЕНИЙ ОБМОТОК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Классификация устройств переключения ответвлений

Устройства переключения ответвлений обмоток (переключающие устройства) силовых трансформаторов различаются по принципу действия, мощности, системам и схемам регулирования и характеру средств гашения возникающей электрической дуги.

По принципу действия различают устройства с регулированием напряжения при отключении напряжения от обмоток силового трансформатора, т. е. для переключения без возбуждения (ПБВ) и без отключения напряжения, т. е. для регулирования напряжения под нагрузкой (РПН).

В свою очередь устройства, работающие без отключения напряжения, разделяются на автоматические и ручные (местного и дистанционного действия).

Переключающие устройства по мощности классифицируются в зависимости от мощности трансформаторов, для которых они предназначены.

Переключающие устройства малой мощности выполняются, как правило, трехфазными и предназначены в основном для трансформаторов I и II габаритов напряжением до 35 кВ.

Для регулирования напряжения у трансформаторов средней мощности класса напряжения 35 кВ, в нулевой точке обмоток напряжением 110 кВ, у линейных выводов обмоток напряжением 110 кВ и выше со встроенным вольтодобавочным трансформатором применяются пе-