

ГЛАВА 6. ПРОВЕРКА И ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

6.1. Испытание и наладка масляных выключателей

Перед началом наладки масляный выключатель должен быть полностью собран и отрезервирован. Монтажный персонал проверяет его на одновременность замыкания и размыкания контактов, а также измеряется ход подвижной части, вжим и ход контактов при включении. Сопротивление изоляции подвижных и направляющих частей, выполненных из органических материалов, баковой изоляции, крепежных шпилек и дугогасительных устройств, измеряется до заливки выключателя маслом. После заливки измеряют сопротивление изоляции подвижных частей при включенном положении выключателя. Измерение производится мегаомметром на напряжение 2500 В, и сопротивление изоляции должно быть для выключателей с рабочим напряжением до 10 кВ — не менее 1000 МОм; от 15 до 150 кВ — не менее 3000 МОм; 220 кВ и выше — не менее 5000 МОм. Отдельно проверяется сопротивление баковой изоляции.

В случае получения при измерении, меньше значений допускаемых Нормами, необходимо измерить сопротивление изоляции при отключенном выключателе и замкнутых накоротко вводах. Сопротивление изоляции подвижных частей в этом случае определяется по результатам измерений во включенном и отключенном положениях выключателя по формуле:

$$R_{из} = R_{из.откл} \cdot R_{из.замк} / (R_{из.откл} - R_{из.замк}),$$

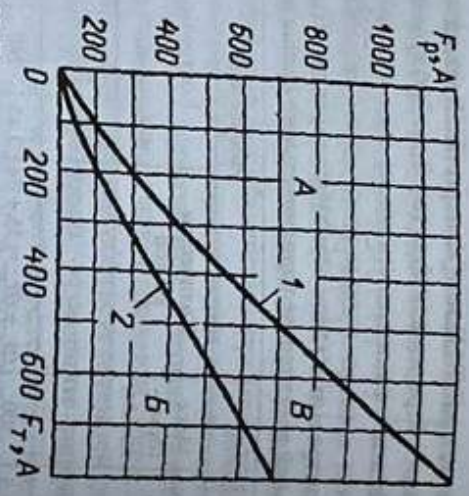


Рис. 5.33. Тормозные характеристики реле серии ДЭТ-11:
1 — при угле между векторами токов в рабочей и тормозной обмотках $\alpha = 0 \pm 30^\circ$; 2 — при $\alpha = 90 \pm 30^\circ$
А — зона срабатывания; В — зона торможения;
В — зона срабатывания или торможения

где $R_{\text{из.акт.}}$, $R_{\text{из.омс.}}$ — сопротивление изоляции соответственно включенного и отключенного масляного выключателя, МОм.

Если в этом случае значения сопротивлений изоляции меньше установленных Нормами, внутрибаковая изоляция подлежит сушке. Сопротивление изоляции вторичных цепей привода выключателя измеряется мегаомметром 1000 В и должно быть не менее 1 МОм.

Испытание вводов масляных выключателей производится до установки их на выключатель, а после установки производят:

- 1) измерение сопротивления изоляции мегаомметром 2500 В (сопротивление изоляции каждого элемента изолятора должно быть не менее 300 МОм);
- 2) измерение тангенса угла диэлектрических потерь, который не должен превышать допустимых значений;
- 3) испытание повышенным напряжением промышленной частоты вводов и проходных изоляторов на напряжение до 35 кВ продолжительностью 1 мин (подвесные и каждый элемент многоэлементных изоляторов испытывают напряжением 50 кВ в течение 1 мин);
- 4) испытание трансформаторного масла из масляного ленточного вводов.

Испытание изоляции масляных выключателей повышенным напряжением промышленной частоты производится в течение 1 мин. Значения испытательного напряжения приведены в [7].

Изоляция вторичных цепей и обмоток привода испытывается напряжением 1000 В в течение 1 мин.

Важной характеристикой регулирования контактной системы выключателя является ее сопротивление постоянному току. Измерение его производится попарно у каждой пары рабочих контактов выключателя микрометром, двойным мостом или методом амперметра-вольтметра. Значения сопротивлений для различных типов выключателей приведены в [1]. Если измеренные значения превышают установленные Нормами, то необходимо произвести ревизию контактов, после чего повторить измерение. Измерению сопротивления постоянно-

яному току также подвергаются обмотки включающей и отключающей катушек привода. Измеренные значения сопротивлений должны соответствовать заводским данным.

Основной проверкой правильного регулирования масляных выключателей и их приводов является измерение скорости включения и отключения, так как в конечном итоге это определяет эффективность работы устройств защиты в аварийных случаях. Эта проверка производится при полностью залитом маслом выключателе при температуре окружающей среды не ниже $+10^{\circ}\text{C}$, при номинальном напряжении оперативного тока на зажимах обмоток электромагнитов включения и отключения, а также при напряжении $0,8U_{\text{ном}}$ на зажимах электромагнитов же при напряжении $0,65U_{\text{ном}}$ на зажимах электромагнитов отключения.

Скоростные характеристики выключателей, пригодных к эксплуатации, должны соответствовать данным, приведенным в [1]. Измерение скоростей включения и отключения выключателей производится при помощи вибрографа отсчетчика времени — вибрографа. Полученная виброграммой кривая движения траверсы при включении и отключении выключателя называется виброграммой и подлежит расшифровке. При снятии виброграммы включается питание катушки вибрографа и одновременно подается команда на включение (отключение) выключателя. Виброграммы выключателей, их обработка и определение средней скорости траверсы приведены в [1] и [7].

Регулировка выключателя считается удовлетворительной, если полученные скорости не отличаются от заводских данных более чем на $\pm 15\%$.

Снятие скоростных характеристик производится для выключателей на напряжение 35 кВ и выше, а также независимо от класса напряжения в тех случаях, когда это требуется инструкцией завода-изготовителя для данного типа выключателя.

Для окончательной общей оценки работы привода производится измерение времени движения подвижных частей выключателя по схемам, приведенным на рис. 6.1.

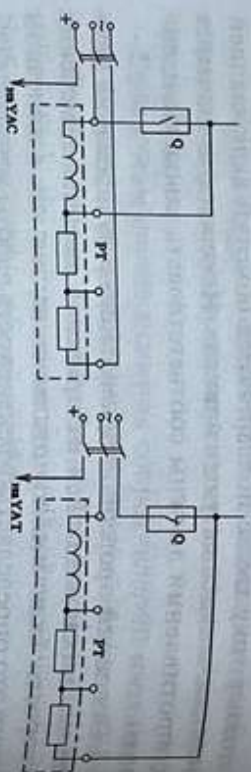


Рис. 6.1. Схемы измерения времени включения (а) и отключения (б) коммутационного аппарата:
 РТ — электросекундомер; УАС — электромагнит отключения;
 УАТ — электромагнит отключения; Q — коммутационный аппарат

Для отсчета времени применяются электрический секундомер, миллисекундомер или осциллограф. Поскольку секундомер может дать большую погрешность (до 0,05 с), для проверки быстрействующих выключателей применяется миллисекундомер или осциллограф. При этом измеряется собственное время включения от момента подачи импульса на включение до начала замыкания контактов выключателя и собственное время отключения от момента подачи импульса на отключение до начала размыкания контактов. Измеренные значения не должны отличаться более чем на $\pm 10\%$ от значений, приведенных в [1] или заводских данных.

В соответствии с требованиями Норм монтажным персоналом проверяется механизм свободного расцепления (отprobованиeм) при включенном положении привода, в двух-трех промежуточных положениях и на границе зоны действия свободного расцепления (в последних случаях при медленном доведении выключателя рычагом или домкратом).

Проверяется также минимальное напряжение срабатывания привода выключателя, которое должно быть не менее 0,35 номинального при отключении, и напряжение надежной работы, которое должно быть не более 0,65 номинального напряжения обмотки привода.

Электромагниты включения должны обеспечивать надежное включение выключателя при напряжении не более 0,8 номинального.

Завершающим для выключателей является испытание многократными включениями и отключениями, которое проводится при напряжениях на зажимах привода в момент включения 1,1; 1,0; 0,9 и 0,8 номинального. Выключатель при каждом напряжении опробуется 3–5 раз и, кроме того, подвергается 2–3-кратному опробованию в цикле отключения — включение — отключение (О-В-О) при автоматическом повторном включении и номинальном напряжении на зажимах привода.

6.2. Испытание и наладка комплектных распределительных устройств

Объем проверки и испытаний комплектных распределительных устройств (КРУ) определяется объемом и нормами для отдельных видов оборудования, из которых они состоят. КРУ комплектуются масляными выключателями, выключателями нагрузки, разъединителями, измерительными трансформаторами разрядниками и т.д. Испытания разъединителей, отключителей, короткозамыкателей приведены в [7]. Кроме этого должны быть выполнены: проверка механизма доводки тележки, проверка действия защитных шток, проверка КРУ многократным вкатыванием тележки, измерение сопротивления постоянному току разъединяющих контактов первичной цепи, проверка правильности регулировки разъемных вспомогательных контактов в испытательном положении, измерение переходного сопротивления заземления тележки с корпусом, измерение сопротивления изоляции элементов, выполненных из органических материалов, измерение сопротивления изоляции вторичных цепей, испытание изоляции аппаратуры первичных цепей, повышение напряжением промышленной частоты, испытание повышенным напряжением вторичных цепей.

6.3. Проверка и испытание силовых трансформаторов

Проверка и испытания силовых трансформаторов регламентируются требованиями Норм [16] и заводских инструкций. Основными из них являются те, которые позволяют оценить состояние изоляции.

1. Измерение характеристик изоляции. Исходными условиями для проверки состояния изоляции являются удовлетворительные результаты проверки трансформатора на герметичность (маслоплотность) и полное окончание монтажа. Трансформаторы испытываются на маслоплотность путем создания стабильного избыточного давления мон-ба масла высотой 0,6 м над верхним, рабочим уровнем масла в расширителе в течение 3 ч (температура масла в баке при этом должна быть не менее 10 °С). При отсутствии течи трансформатор считается достаточно маслоплотным. Затем отбирается проба масла для химического анализа и проверки электрической прочности в лабораторных условиях (обычно энергосистем). Проба масла отбирается после доливки и отстоя в течение не менее 24 ч и после этого проверяется состояние изоляции.

Состояние изоляции оценивается по результатам измерения $tg \delta$, R_{60} , R_{15} . При измерении все выводы обмоток одного напряжения соединяют вместе, а остальные обмотки и бак трансформатора заземляют. В начале измерения сопротивление изоляции, затем — остальные характеристики изоляции трансформатора. Измерения производятся при температуре изоляции не ниже 10 °С.

За температуру изоляции трансформатора, не подвергавшегося нагреву, принимается температура верхних слоев масла.

Если температура масла ниже 10 °С, то для измерения характеристик изоляции трансформатора он должен быть нагрет. В этом случае за температуру измерения принимается средняя температура обмотки ВН фазы В, определенная по сопротивлению её постоянному току через 60 мин после отключения тока нагрева или 30 мин после отключения внешнего источника нагрева.

Сопротивление изоляции измеряется мегаомметром 2500В. Перед началом измерения испытываемая обмотка должна быть заземлена на время не менее 5 мин. Показания мегаомметра считываются через 15 и 60 с после приложения напряжения к изоляции обмотки. Допускается за начало отсчета принимать начало вращения рукоятки мегаомметра.

По результатам измерения сопротивления изоляции определяется коэффициент абсорбции $k_{60} = R_{60}/R_{15}$. Значения R_{60} для вновь вводимых трансформаторов классов напряжения обмотки ВН до 35 кВ включительно, запитых маслом, должны быть не менее значений, указанных в табл. 6.1.

Для трансформаторов класса напряжения 110–150 кВ — R_{60} изоляции, определенное при температуре заводских испытаний или приведенное к одинаковой температуре (если температура при измерении отличается от заводской), должно быть не менее 70% значения, указанного в паспорте трансформатора.

Тангенс угла диэлектрических потерь $tg \delta$ измеряется мостом переменного тока по перевернутой схеме при напряжении 10 кВ, но не более 2/3 испытательного напряжения испытываемой обмотки.

Наименьшие допустимые значения сопротивления изоляции R_{60} обмоток трансформатора

Мощность трансформатора	Значение R_{60} , Мом, при температуре обмотки, °С							
	10	20	30	40	50	60	70	
До 6300 кВ · А включительно	450	300	200	130	90	60	40	
10000 кВ · А и более	900	600	400	260	180	120	80	

Примечание: Значения R_{60} относятся ко всем обмоткам данного трансформатора

Значения $tg \delta$, %, изоляции обмоток для вновь вводимых в эксплуатацию трансформаторов классов напряжения до 35 кВ включительно, запитых маслом, не должны превышать значений, указанных в табл. 6.2.

Для трансформаторов классов напряжения 110–150 кВ значения $tg \delta$ изоляции обмоток при температуре заводских испытаний или приведенное к одинаковой темпе-

Наибольшие допустимые значения $t_{\text{г}}$ и δ изоляции обмоток трансформаторов на напряжение до 35 кВ включительно, залитых маслом

Мощность трансформатора, кВ·А	Температура обмотки, °С							
	10	20	30	40	50	60	70	
До 6300 включительно	1,2	1,5	2,0	2,5	3,4	4,5	6,0	
10000 и более	0,8	1,0	1,3	1,7	2,3	3,0	4,0	

Примечание: Значения $t_{\text{г}}$ и δ относятся ко всем обмоткам данного трансформатора

ратуре должны быть не более 130% значений, указанных в паспорте трансформатора.

В процессе ревизии или сушки трансформатора состояние увлажненности его обмоток оценивается измерением $\Delta C/C$ с помощью приборов контроля влажности ЕВ-3, ПКВ-7 или ПКВ-8, которое считается удовлетворительным, если не превышает следующих значений

t измерения, °С	10	20	30	40	50
$\Delta C/C$ (до ревизии), %	8	12	18	29	44
$\Delta C_1/C$ (после ревизии), %	3	4	5	8,5	13

Результаты измерений $\Delta C/C$ инструкциями не нормируются, но используются как дополнительный критерий оценки и в качестве исходных данных для последующих измерений в эксплуатации.

Оценка состояния изоляции и заключение о необходимости сушки трансформатора делаются на основе комплексного рассмотрения условий транспортировки, хранения, монтажа и результатов всех проверок в соответствии с заводской инструкцией. Результаты измерения R_{60} и $t_{\text{г}}$ для этого приводятся к указанной в паспорте температуре. Значения коэффициентов пересчета R_{60} и $t_{\text{г}}$ в зависимости от разности температур приведены в табл. 6.3.

Коэффициенты пересчета R_{60} и $t_{\text{г}}$ в зависимости от разности температур

Разность температур, °С	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
Коэффициент пересчета k_2 для R_{60} обмоток	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4
Коэффициент пересчета k_1 для $t_{\text{г}}$ обмоток	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,31	1,51	1,75	2,0	2,3

Трансформаторы могут быть введены в эксплуатацию без сушки или подсушки, если:

1. время хранения без масла или без доливки не превышало допустимого;
2. отсутствуют признаки увлажненности по результатам проверки или сохраняется термичность;
3. время пребывания активной части на воздухе не превышало допустимое более чем вдвое.

При удовлетворительных результатах проверки состояния изоляции обмоток трансформаторов напряжением до 35 кВ они подвергаются испытаниям повышенным напряжением переменного тока промышленной частоты. Испытание производится вместе с установленными вводами в течение 1 мин.

Значения испытательного напряжения приведены в табл. 6.4.

Испытаниям подвергается каждая фаза или обмотка в целом (если фазы не разделяются) по отношению к заземленным другим обмоткам аналогично измерениям, производимым при оценке состояния изоляции.

Подъем напряжения при производстве испытаний допускается производить сразу до 40% $U_{\text{исп}}$, а затем плавно — со скоростью не более чем 3% $U_{\text{исп}}$ в 1 с. После окончания испытания снижение напряжения разрешается произво-

Таблица 6.4.
Значения испытательного напряжения

Номинальное напряжение обмотки, кВ	До 0,69	3	6	10	15	20	35
Испытательное напряжение, кВ							
обмоток трансформатора с изоляцией: нормальной...	5	18	25	35	45	55	85
облегченной, в том числе сухих трансформаторы...	3	10	16	24	37	-	-

длить со скоростью до 25% $U_{ис}$ в течение не менее 5 с, затем можно сразу отключить напряжение.

Результаты испытаний считаются удовлетворительными, если во время испытания не замечено пробоев. Последнее имеет место, если слышатся звуки разрядов в баке, сопровождаемые при этом толчками стрелок измерительных приборов (ток резко возрастает, напряжение падает). Отдельные звуки разрядов, не сопровождаемые колебаниями стрелок приборов, не являются признаком повреждения или дефекта изоляции.

При пробое изоляции требуется вскрыть трансформатор со сливом масла и повторить испытание. По появлению дыма, при повторном испытании, определяется место повреждения, которое в дальнейшем устраняется заводом или ремонтным персоналом. После устранения дефекта и восстановления изоляции испытания повторяются.

Измерение сопротивления изоляции доступных стержневых шпилек, прессующих колеи и ярмовых балок производится при капитальном ремонте ранее выпущенного электрооборудования. На современном электрооборудовании трансформаторов на шпильчатом соединении активной стали такое измерение не требуется. Однако согласно ПТЭ такое испытание у силовых трансформаторов требуется при осмотре их съемной части и вскрытии измерительных трансформаторов. [3]

Сопротивление изоляции стержневых болтов и ярмовых балок не нормируется. Для трансформаторов напряже-

нием 3–10 кВ оно принимается не менее 2–3 МОм, а для трансформаторов напряжением 110 кВ и выше – не менее 10–20 МОм. Согласно инструкции не допускается снижение сопротивления изоляции более чем на 50% исходных значений; при большем снижении необходимо выяснить и устранить причину снижения. Повреждаются чаще всего изолирующие шайбы непосредственно под гайками или изолирующая трубка, надеваемая на стержневой болт в месте выхода из пакета стали. Заусенцы у краев отверстия при затяжке шпильки обычно прорезают изоляцию трубки. При нарушении изоляции возможен так называемый «пожар» стали магнитопровода. При соединении шпильки с сердечником в двух точках может образоваться короткозамкнутый контур, в котором магнитный поток наводит токи, могущие нагревать шпильку до высокой температуры и вызывать выгорание стали магнитопровода. Измерение сопротивления изоляции доступных стержневых шпилек, прессующих колеи и ярмовых балок производится мегаомметром напряжением 1000–2500 В относительно магнитопроводов по схеме рис. 6.2.

Испытание изоляции доступных стержневых шпилек и колеи повышенным напряжением переменного тока производится, если имеет место осмотр съемной части трансформатора и при удовлетворительных результатах измерения изоляции. Испытательное напряжение промышленной

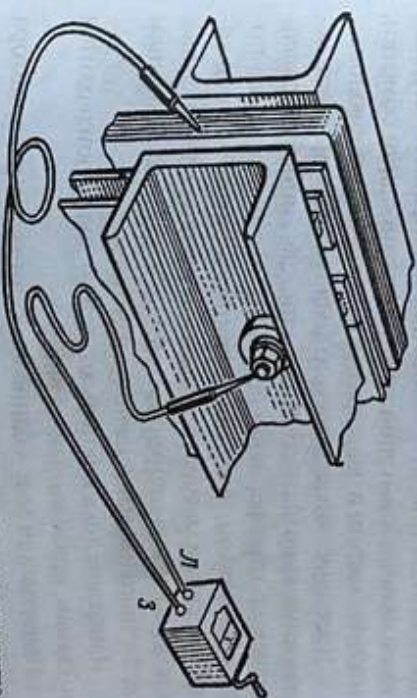


Рис. 6.2. Схема проверки состояния изоляции стержневых болтов мегаомметром

частоты для стержневых шпилек 1000–2000 или 2500 В постоянного тока. Продолжительность испытания 1 мин.

Испытание изоляции напряжением 1000–2000 В производится по схеме рис. 6.3, для чего можно использовать однофазный трансформатор напряжения, релестат и вольтметр переменного тока. Если изоляция болта исправна, то стрелка вольтметра не колеблется. При плохой изоляции напряжение понижается, при полном замыкании стержня болта на корпус (магнитопровод) напряжение падает до нуля.

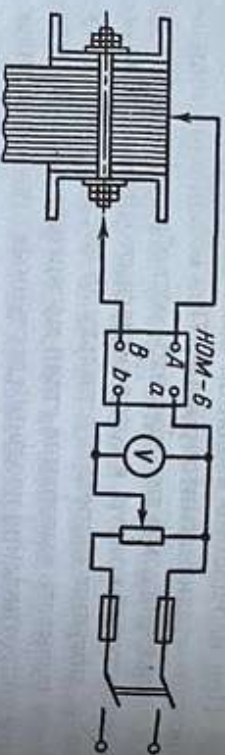


Рис. 6.3. Схема для испытания изоляции стержневых шпилек повышенным напряжением

2. Измерение тока и потерь холостого хода. Данное измерение позволяет выявить витковые замыкания и повреждения в активной части магнитопровода. При повреждениях магнитопровода, например нарушении изоляции между листами, потери холостого хода увеличиваются. Резкое увеличение тока и потерь холостого хода является показателем наличия замыканий между витками одной обмотки, местного нагрева и повреждения обмоточных проводов.

Измерение потерь холостого хода трансформаторов необходимо выполнять до испытаний, связанных с воздействием на трансформатор постоянного тока (прогрев постоянным током, измерение сопротивления обмоток и сопротивление изоляции, определение группы соединений), для исключения погрешностей, вызываемых влиянием остаточного намагничивания магнитопровода.

Измерение тока и потерь холостого хода производится по схемам, приведенным на рис. 6.4.

При холостом ходе к одной из обмоток трансформатора (обычно низшего напряжения) при разомкнутых остальных

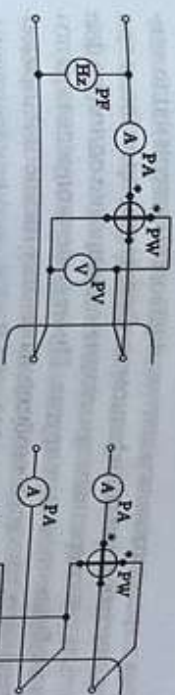


Рис. 6.4. Схемы измерения тока и потерь холостого хода при однофазном возбуждении трансформатора (а), при трехфазном возбуждении трансформатора (б), с использованием измерительных трансформаторов (в)

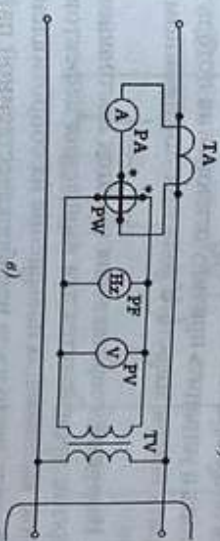


Рис. 6.4. Схемы измерения тока и потерь холостого хода при однофазном возбуждении трансформатора (а), при трехфазном возбуждении трансформатора (б), с использованием измерительных трансформаторов (в)

ных обмотках подводит номинальное напряжение номинальной частоты, а при испытании трехфазных трансформаторов, кроме того, практически симметричное.

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

$$I_x = (I_a + I_b + I_c) / 3, \quad (I_x / I_{ном}) \cdot 100.$$

Ток холостого хода не нормируется.

Потери холостого хода измеряются при пониженном напряжении. При этом измеряются подводимое напряжение U_n и суммарная мощность $P_{вт}$, потребляемая трансформатором и схемой измерения. Затем определяют собственное потребление схемы $P_{сх}$, отключив схему от выводов обмотки трансформатора. Потери в трансформаторе $P_{тр}$ при напряжении U_n определяют по формуле:

$$P_{тр} = P_{вт} - P_{сх}.$$

В трехфазных трансформаторах можно измерять потери при трехфазном напряжении. Однако у трансформато-

ров с трехстержневым магнитопроводом потери чаще всего измеряют при однофазном возбуждении, производя три опыта с поочередным замыканием накоротко одной из фаз и возбуждением двух других. Проще всего определить потери холостого хода, возбуждая обмотку низшего напряжения напряжением сети 220–380 В.

Полученные при измерениях данные сравниваются с данными заводских испытаний; они не должны различаться более чем на 10%. В противном случае необходимо выяснить и устранить причину отклонения потерь и вновь измерить потери холостого хода при пониженном напряжении.

3. Измерение сопротивления обмоток постоянному току.

Измерение производится для выявления дефектов в цепи обмоток, вызывающих повышение их сопротивления. Это может иметь место из-за недоброкачественной пайки, неудовлетворительного состояния контактов переключателя ответвлений и соединений в местах подключения отводов обмоток к вводам, обрыва одного или нескольких параллельных проводов в обмотках, имеющих параллельные ветви.

При измерениях на месте монтажа наиболее часто выявляется неудовлетворительное состояние переключателей ответвлений.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току производится методом моста или методом амперметра–вольтметра при токе, не превышающем 20% номинального тока измеряемой обмотки, во избежание её дополнительного нагрева. Иногда при кратковременных измерениях (до 1 мин) допускается производить измерения при токах более 20% номинального.

Для измерения малых сопротивлений лучше пользоваться двойным мостом, а при отсутствии его — методом падения напряжения, т.е. методом амперметра–вольтметра. В последнем случае класс точности приборов должен быть не ниже 0,5.

Мостовой метод измерения сопротивления более точен, но при сравнении результатов измерения могут отличаться от заводских данных, измеряемых, как правило, методом

падения напряжения. Поэтому измерение сопротивлений постоянному току рекомендуется производить тем же методом, каким производились измерения на заводе.

При измерениях методом амперметра–вольтметра в соответствии с измеряемым сопротивлением выбирают схему измерения (рис. 6.5).

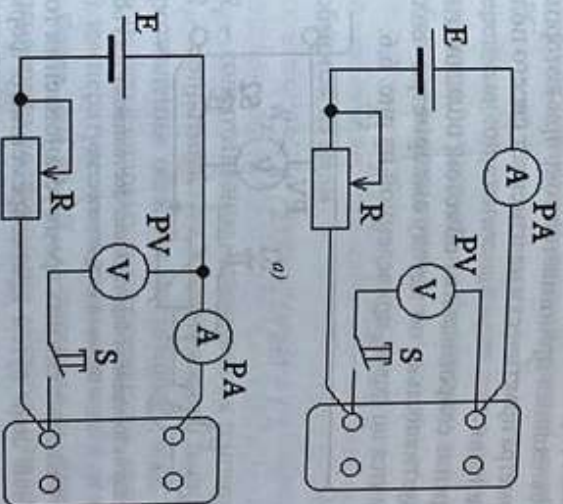


Рис. 6.5. Схемы измерения сопротивления обмоток трансформатора постоянному току: трансформатора методом амперметра–вольтметра: а — для малых сопротивлений; б — для больших сопротивлений

Измеряется сопротивление постоянному току всех обмоток на всех ответвлениях. У трансформаторов, имеющих предвзбиратель в переключающих устройствах, измерения сопротивления на всех ответвлениях при одном положении предвзбирателя и дополнительно на одном ответвлении при другом положении.

В аппаратах с нулевым выводом измеряются и сравниваются фазовые сопротивления, а при отсутствии нулевого вывода — сопротивления обмоток между линейными выводами.

При измерении малых сопротивлений (менее 1 Ом) методом амперметра–вольтметра, цепи милливольтметра

в схеме присоединяются непосредственно к выводам измеряемой обмотки отсечными проводниками. Милли-вольтметр включается при установленном значении тока, а отключается до разрыва цепи (для предотвращения выхода его из строя высоким напряжением, наведенным в обмотке трансформатора магнитным потоком сердечника). За установившийся принимается ток, при котором стрелка амперметра практически не изменяет своего положения в течение 1 мин.

Измерение сопротивления обмоток, обладающих большой индуктивностью, по методу амперметра-вольтметра производится по схеме, приведенной на рис. 6.6.

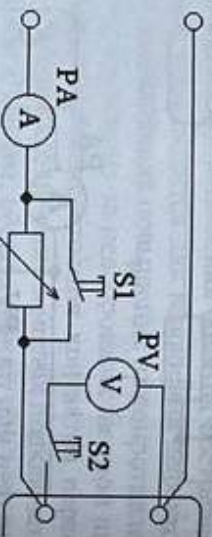


Рис. 6.6. Схема измерения сопротивления постоянному току обмотки с большой индуктивностью

Схема позволяет снизить время установления тока в измерительной цепи путем кратковременного формирования тока замыканием реостата кнопкой S1. Сопротивление реостата выбирается не менее чем в 8–10 раз больше, чем сопротивление измеряемой обмотки.

При измерении сопротивления обмоток постоянному току следует использовать в измерительной цепи соединительные провода небольшой длины и соответствующего сечения (в зависимости от значения тока) для внесения в результаты измерений наименьшей погрешности.

Наибольшую точность измерений сопротивления обмоток дает компенсационный метод измерения, при котором соединительные провода не вносят погрешности в результаты измерений. При измерении сопротивления обмоток определяется их температура во время измерения для объективного сравнения измеренных данных с заводскими. За температуру обмоток трансформатора, не подвергавшегося нагреву и не включавшегося в сеть, прини-

мается температура верхних слоев масла (измеренная ранее чем через 30 мин после заливки для трансформаторов мощностью до 1000 кВ·А включительно и не ранее чем за 1 час для трансформаторов большей мощности). Для трансформаторов, находящихся длительно (не менее 10 ч) в помещении, за температуру обмотки принимается температура окружающего воздуха, если её колебания не более 3 °С.

Измеренные сопротивления приводятся к одной и той же температуре по следующим формулам:

$$R_2 = R_1 (245 + t_2) / (245 + t_1);$$

для обмоток из меди

$$R_2 = R_1 (235 + t_2) / (235 + t_1),$$

где R_2 — сопротивление, приведенное к температуре t_2 ;

R_1 — сопротивление, измеренное при температуре t_1 .

Сопротивления обмоток постоянному току, измеренные при наладке силовых трансформаторов, приведенные к одной температуре, не должны отличаться от заводских данных более чем на 2%, за исключением случаев, когда это оговорено паспортными данными или заводскими протоколами.

В качестве источника постоянного тока принимают-ся аккумуляторные батареи емкостью около 200 А·ч при напряжении 4–12 В. Выпрямительные установки в связи с имеющейся небольшой пульсацией тока при измерении сопротивлений со значительной индуктивностью цепей, к которым относятся обмотки трансформаторов, широко применения не нашли.

4. Измерение коэффициента трансформации. Измерением коэффициента трансформации производится проверка соотношения числа витков обмоток трансформатора, а также имеется возможность проверить правильность установки переключателя напряжения на соответствующих ступенях и целостность обмоток.

Коэффициент трансформации обмоток трансформатора проверяется путем одновременного измерения напря-

жения обмоток высшего и низшего напряжения при помощи вольтметров класса не ниже 0,5 по схемам рис. 6.7. Измерения производятся для всех обмоток на всех ответвлениях.

Для трехобмоточных трансформаторов допускается проверка коэффициента трансформации поочередно между двумя парами обмоток, при этом проверку рекомендуется делать на тех обмотках, между которыми наименьшее напряжение короткого замыкания наименьшее. Наиболее распространённым методом для определения коэффициента трансформации является метод двух вольтметров. В этом случае к одной из обмоток, как правило ВН, подводится напряжение сети, измеряемое одним вольтметром. Другим вольтметром измеряется напряжение другой обмотки (рис. 6.7 а). Отсчет по вольтметрам делается одновременно. У трехфазных трансформаторов коэффициент трансформации лучше измерять при трехфазном возбуждении четырьмя вольтметрами одного класса точности (рис. 6.7 б): одним вольтметром измеряется напряжение на обмотке ВН (после проверки симметричности линейных напряжений, питающей сети), а тремя вольтметрами измеряются одновременно напряжения на трех фазах другой обмотки или между фазами (при отсутствии выведенного нуля обмотки).

Коэффициент трансформации подсчитывается как отношение напряжения обмотки ВН к напряжением отдельных фаз.

При однофазной схеме питания трехфазных трансформаторов с обмотками, соединенными по схеме звезды — треугольник без выведенного нуля, для получения правильного результата фазы, на которой не производится измерение, закорачивается (рис. 6.7 в). В противном случае результаты измерения искажаются из-за того, что, как показано на рисунках, в треугольнике проходят токи во всех трех обмотках. Коэффициент трансформации в этом случае определяется между фазными напряжениями:

$$\eta_{\text{ф}} = (U_{\text{AB}} / 2) / U_{\text{ас}},$$

$$\eta_{\text{ф}} = (U_{\text{BC}} / 2) / U_{\text{ас}},$$

$$\eta_{\text{ф}} = (U_{\text{CA}} / 2) / U_{\text{ас}},$$

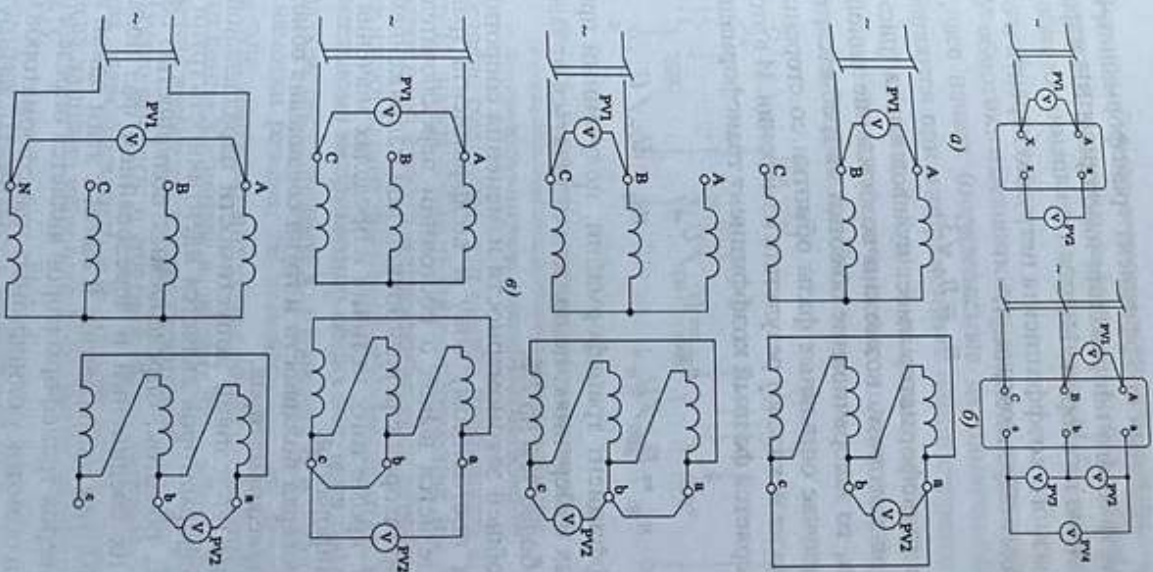


Рис. 6.7. Измерение коэффициентов трансформации силовых трансформаторов:
а — однофазная; б — трехфазная по треугольной схеме возбуждения;
в — трехфазная по однофазной схеме возбуждения;

где n_ϕ — фазный коэффициент трансформации, т.е. отношение фазного напряжения на стороне ВН к фазному напряжению на стороне НН.

От фазного коэффициента нетрудно перейти к обычно определяемому линейному:

$$n_\lambda = n_\phi \sqrt{3}.$$

Если трансформатор имеет нулевой вывод (рис. 6.7 з), благодаря которому возможно возбуждение одной фазы обмотки, то закорачивание обмотки не требуется, так как в этом случае остальные фазы обмотки со стороны треугольника не искажают результата измерения. И в этом случае измеряется фазный коэффициент трансформации:

$$n_{1\phi} = U_{AO} / U_{ab}; \quad n_{2\phi} = U_{BO} / U_{bc}; \quad n_{3\phi} = U_{CO} / U_{ca}.$$

Коэффициент трансформации, полученный при контрольных измерениях, не должен отличаться от заводских данных более чем на 2%.

По общей закономерности изменения сопротивления обмоток постоянному току и коэффициента трансформации делается вывод о состоянии переключателя. Для трансформаторов с регулировкой под напряжением допускаются, кроме того, отклонения в пределах значения ступени регулирования.

5. Проверка полярности и групп соединения обмоток силовых трансформаторов.

Одним из условий допустимости параллельной работы трансформаторов является идентичность групп соединения их обмоток, определяемых полярностью обмоток, схемой их соединений и чередованием фаз подаваемого на обмотки напряжения. В связи с этим одной из важных проверок трансформаторов является определение полярности обмоток у однофазных трансформаторов и групп соединения (в заводском исполнении) трехфазных трансформаторов. [1]

При оценке групп соединения силовых трансформаторов исходят, кроме принципа, заложенного в определении однополярности, из следующих основных предположений:

1. Выводы обмоток стороны высшего напряжения (ВН) обозначаются прописными буквами А, В, С, Х, У, Z, а выводы обмоток низшего напряжения (НН) — строчными буквами а, в, с, х, у, z.

2. У обмоток, имеющих одинаковое направление намотки, все начала (определяемые их однополярностью) располагаются при изображении с одной стороны, а концы — с другой (рис. 6.8 а). У обмоток, имеющих разное направление намотки, начала и концы их располагаются с разных сторон (рис. 6.8 б).

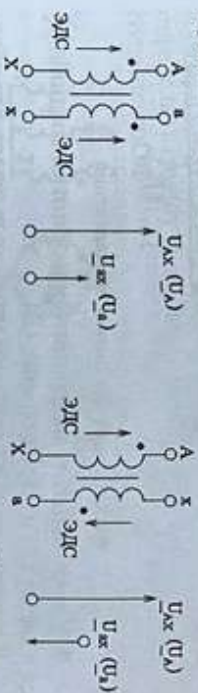


Рис. 6.8. Изображение однополярных выводов обмоток:
а — при одинаковом направлении намотки обмоток;
б — при различных направлениях намотки обмоток

3. Условно считается, что вектор первичного U_{Ax} и вторичного U_{ax} напряжений и соответствующие им ЭДС E_{Ax} и E_{ax} имеют одно и то же направление, если считать, что обе обмотки имеют одно и то же направление намотки, при этом положительному направлению обоих векторов соответствует обход обмоток от концов X, x к началу A, a. Если направления намотки разные, то положительному направлению вектора ЭДС соответствует обход обмотки высшего напряжения от конца X к началу A, вектор ЭДС обмотки низшего напряжения изображается противоположным ему на 180°.

4. Начало обмоток и нулевой вывод располагаются на крышках трансформаторов в последовательности ОАВС, оавс слева направо, если смотреть на них со стороны выводов ВН.

5. Обмотка ВН считается первичной, НН — вторичной.
6. Векторная диаграмма линейных и фазных напряжений первичного напряжения считается исходной и во всех случаях неизменной независимо от схемы соединения обмоток трансформатора и подключения его к сети.

Чередование фаз сети согласно ГОСТ принимается А-В-С (рис. 6.9).

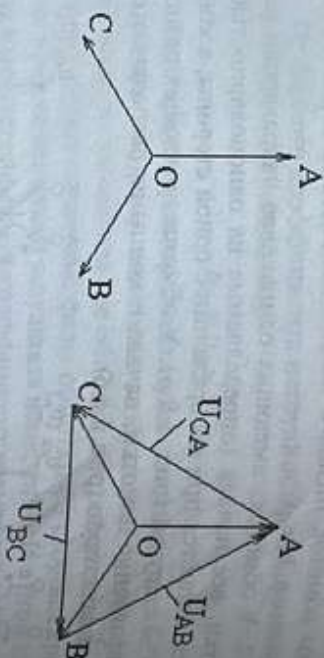


Рис. 6.9. Векторная диаграмма напряжений

7. У трехфазных трансформаторов обмотки соединяются в звезду (Y) и в треугольник (Δ).

В зависимости от схемы соединения выводов для образования треугольника и от порядка подключения фаз на прижения сети к выводам возможно получение различных групп соединения.

Группа соединения определяется сдвигом по фазе линейного или фазного напряжения обмотки НН по отношению к одноименному линейному или фазному напряжению обмотки ВН. В зависимости от всех перечисленных факторов группы соединений трансформаторов могут отличаться друг от друга на $n \cdot 30^\circ$ (n — число в пределах 1—12). В связи с тем, что часовые деления циферблата часов составляют тоже число, а угол между каждой парой часовых делений составляет также 30° , принято группы трансформаторов определять по часовой системе, считая вектор напряжения стороны ВН исходным и направленным на цифру 12. Вектор напряжения НН направляется при изображении группы на ту цифру циферблата часов, которая определяет группу. Первая группа означает, что вектор U_{HN} опережает одноименный вектор U_{VN} на 30° , вторая группа — что вектор U_{HN} опережает на 60° и т.д.

Трансформаторы общепромышленного назначения имеют в основном 12 (Y/Y) группу соединения и 11 (Y/Δ),

но, в зависимости от подсоединения обмоток их к фазам системы, встречаются также группы 1, 5 и 7.

В практике наладочных работ приходится с учетом заводской маркировки и полярности определять группу соединения обмоток трансформатора на основании схемы соединения обмоток и, наоборот, задавать схему соединения обмоток по требуемой группе независимо от паспортных данных трансформатора.

Для облегчения построения векторных диаграмм, на основе которых затем определяется группа, можно пользоваться следующим простым приемом. Например, нужно определить группу трансформатора для случая 6 (рис. 6.10) соединения обмоток.

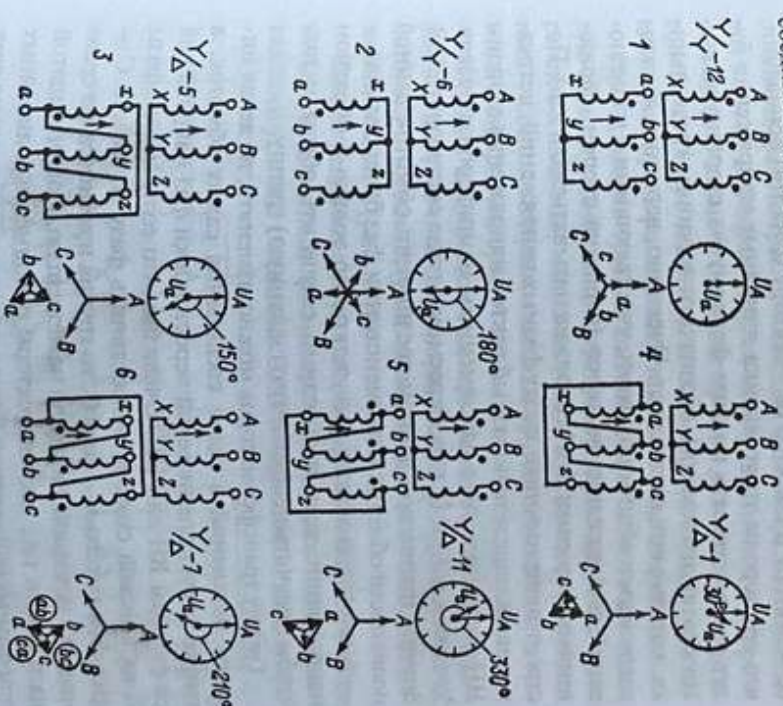


Рис. 6.10. Примеры схем соединения обмоток силовых трансформаторов. Точками обозначены согласно ГОСТ однополярные выводы

Напряжение (или ЭДС) обмоток ВН и НН стержня фазы А (аналогично В и С) могут или совпадать, или быть противоположными по фазе, так как обмотки располагаются на одном стержне магнитопровода. Определив предварительно полярность поларометром как для однофазных трансформаторов, убеждаемся в том, что для случая 6 одинаковые по фазам обмотки имеют противоположное направление намотки. В случаях 1, 4, 5 направление обмоток одинаковое, а в случаях 2, 3, 6 — разное. Стрелками показано направление ЭДС обмоток.

В соответствии с этим на векторной диаграмме строим вектор ab , противоположный по фазе вектору А, вектор bc — вектору В и вектор ca — вектору С на том основании, что со стороны треугольника линейные напряжения будут соответствовать по фазе фазному на стороне звезды. Изобразив эти векторы, обозначают вершины треугольника, которые они составляют. Очевидно, вершины должны именоватьсся общими буквами, участвующими в наименовании двух соседних векторов (вершина сторон, образованных векторами ab и bc , должна называться b и т.д.). Построив в треугольнике звезду фазных напряжений, нетрудно теперь определить фазный вектор напряжения стороны НН и сравнить его с одноименным на циферблате часов. Угол между U_a и U_o в разбираемом случае составляет 210° . Значит, группа при данном соединении обмоток данной полярности обмоток и наименовании фаз будет седьмая.

Аналогично можно рассуждать, но только в обратном направлении, если необходимо соединить обмотки так, чтобы получить необходимое (заданную) группу.

Группу трансформаторов можно изменить, не делая никаких изменений в схеме соединения самих обмоток, а только за счет циклической перестановки фаз напряжения со стороны ВН или НН. Очевидно, что если вместо фазы В на высокой стороне подсоединить фазу А, вместо С — фазу В, а вместо А — фазу С, то группа изменится по сравнению с исходной с нулевой на четвертую, с одинацовой на третью и т.д., так как векторы одноименных линейных или фазных напряжений будут сдвинуты относительно друг друга еще на 120° по сравнению с первоначальным сдвигом.

Если еще раз произвести циклическую перестановку фаз (на фазу С подсоединить фазу А, на фазу А — фазу В, на фазу В — фазу С), то группа четвертая изменится на восьмую, третья на седьмую и т.д., поскольку векторы одноименных напряжений будут сдвинуты по отношению к другой еще на 120° , а всего на 240° по сравнению с исходным их расположением.

Проверка группы соединений обмоток трехфазных трансформаторов и полярности выводов однофазных трансформаторов может производиться методом фазометра, методом двух вольтметров, методом постоянного тока или специального векторметра.

Метод фазометра. С помощью фазометра, показывающего $\cos \varphi$, определяют угол между первичной и второй ЭДС. Фазометр не имеет пружин для создания противодействующего момента, и поэтому его стрелка при отключении прибора занимает произвольное положение.

При проверке группы соединения этим методом токовую обмотку однофазного фазометра присоединяют через резистор к зажимам одной из обмоток, а обмотку напряжения — к одноименным зажимам другой обмотки испытываемого трансформатора.

К одной из обмоток трансформатора подводит напряжение, достаточное для нормальной работы фазометра, который показывает угол сдвига между векторами напряжения обмоток (рис. 6.11).

Для определения группы соединения наиболее удобен четырехваттный фазометр, непосредственно показывающий угловое смещение ЭДС (напряжения) в градусах.

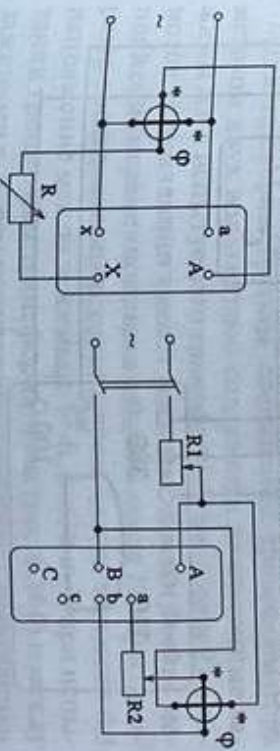


Рис. 6.11. Схема проверки группы соединений обмоток однофазных (а) и трехфазных (б) трансформаторов с помощью фазометра

Полную схему фазометра перед включением проверяют при различных заведомо известных группах соединений и при тех же условиях, в каких фазометр будет работать при испытаниях. При определении групп соединений трехфазных трансформаторов производят не менее двух измерений, т.е. для двух пар одноименных зажимов (например АВ — аb и СА — са), при этом в обоих случаях должны получаться одинаковые результаты. Определение группы соединений трехобмоточных трансформаторов производится сначала между обмотками низшего и высшего напряжений, а затем между обмотками среднего и низшего напряжений. Применение фазометра для определения групп соединения обмоток трансформатора в некоторой мере усложняется тем, что в каждом случае требуется подбирать добавочное сопротивление к токовой обмотке фазометра. Тем не менее, при массовой проверке групп соединения обмоток метод фазометра является удобным и может с успехом применяться при пусконаладочных работах.

Проверку группы соединения обмоток силовых трансформаторов можно также произвести универсальным фазоуказателем типа Э — 500/2 (рис. 6.12). Фазоука-

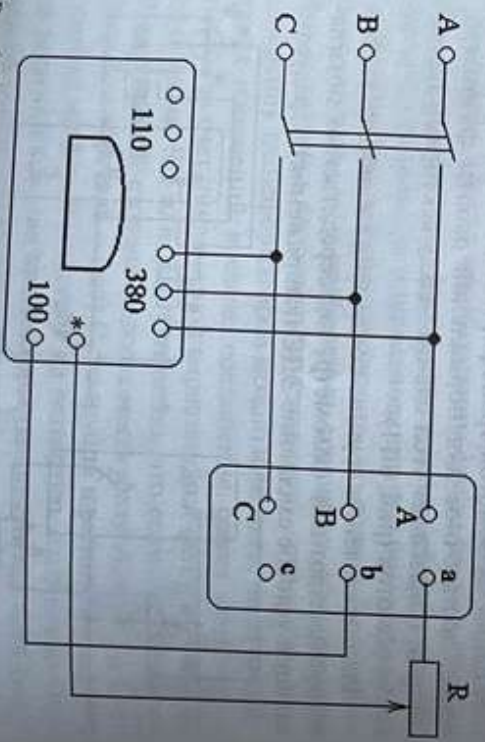


Рис. 6.12. Проверка группы соединений обмоток силовых трансформаторов с помощью фазоуказателя

затель подсоединяется через резистор R сопротивлением 20—30 Ом.

Метод двух вольтметров. Этот метод для определения группы соединения является распространенным и доступным, основан на совмещении векторных диаграмм первичного и вторичного напряжений и измерении напряжений между соответствующими выводами с последующим сравнением этих напряжений с расчетными. На рис. 6.13 а показана векторная диаграмма трансформатора со схемой соединения обмоток У/У с одинаковым направлением намотки обмоток ВН и НН.

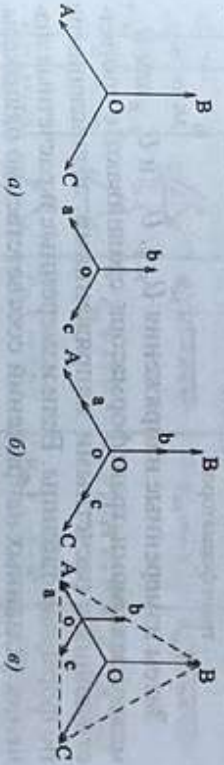


Рис. 6.13. Векторные диаграммы для группы соединения У/У—12

Обычно производится совмещение нулевых точек обмоток ВН и НН (рис. 6.13 б), нулевой точки одной обмотки ВН или НН с началами обмоток ВН и НН (А и а, В и в или С и с), как показано на рис. 6.13 в, где совмещены начала фаз А и а. Так как угол сдвига между векторами линейных напряжений ВН и НН равен нулю, то трансформаторы имеют группу соединений 12 (0).

Из-за того, что не у всех трехфазных трансформаторов имеются на крышке нулевые выводы, всегда принято совмещать начала одноименных обмоток ВН и НН.

Для проверки группы соединения трансформатора методом двух вольтметров соединяют одноименные зажимы А и а испытываемого трансформатора. К одной из обмоток (безразлично какой) подводят симметричное напряжение переменного тока (обычно около 220 В) и измеряют последовательно вольтметром класса точности 0,5 напряжение между зажимами б—В, в—С и с—В при испытании трехфазных трансформаторов (рис. 6.14 б) и между зажимами х—Х при испытании однофазных трансформаторов (рис. 6.14 в).

Таблица 6.5.

Векторные диаграммы и расчетные формулы для определения группы соединений трансформаторов

Группа соединений	Угловое смещение α , град.	Векторная диаграмма смещения обмоток	$U_{b-a} (U_{2-x})^*$	U_{b-c}	U_{c-b}
0	0°		$U_{\text{ном}} (K-1)$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1-K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1-K+K^2}$
1	30°		$U_{\text{ном}} \sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$
2	60°		$U_{\text{ном}} \sqrt{1-K+K^2}$	$U_{\text{ном}} (K-1)$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$
3	90°		$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1-K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$
4	120°		$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1-K+K^2}$	$U_{\text{ном}} (1+K)$
5	150°		$U_{\text{ном}} \sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$
6	180°		$U_{\text{ном}} (1+K)$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$
7	210°		$U_{\text{ном}} \sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$
8	240°		$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$	$U_{\text{ном}} (1+K)$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$
9	270°		$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1-K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$
10	300°		$U_{\text{ном}} \sqrt{1-K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$	$U_{\text{ном}} (K-1)$
11	330°		$U_{\text{ном}} \sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1+K+K^2}$	$U_{\text{ном}} \sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$

* Для однофазных трансформаторов (группы смещений 0 и 6).

Чтобы определить группу соединений обмоток трехфазного трансформатора методом постоянного тока, к выводам АВ обмотки ВН подводится напряжение постоянно-го тока 2–12 В.

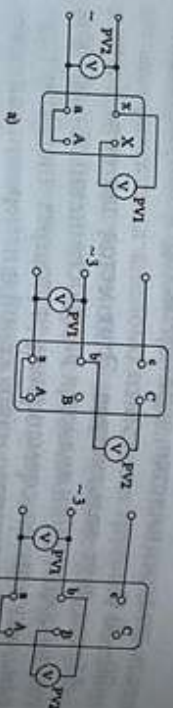


Рис. 6.14. Схемы проверки группы соединений методом двух вольтметров однофазных (а) и трехфазных (б) трансформаторов

Затем измеренные напряжения U_{b-a} , U_{b-c} и U_{c-b} или $U_{x-x'}$ между зажимами трансформатора сравнивают с соответствующими расчетными напряжениями, вычисленными по формулам таблицы. Если измеренные и расчетные значения указанных напряжений соответственно одинаковы, то группа соединений соответствует указанной в табл. 6.5.

Метод постоянного тока. Проверка группы соединения методом постоянного тока (метод гальванометра) для однофазных трансформаторов сводится к определению однополярных зажимов.

Определение группы производят по схеме на рис. 6.15. К обмотке высшего напряжения подводится напряжение постоянного тока 2–12 В от аккумуляторной или гальванической батареи. В обмотку низшего напряжения включается гальванометр. Отклонение стрелки гальванометра вправо при замыкании цепи источника тока свидетельствует, что группа соединения 0, отклонение влево — группа 6.

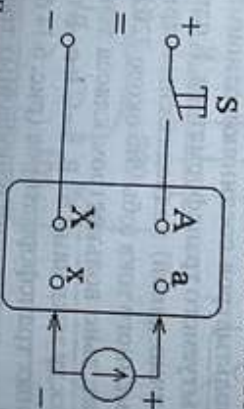


Рис. 6.15. Проверка группы соединения однофазного трансформатора методом постоянного тока

Таблица 6.6.

Показания гальванометра при определении группы соединения обмоток трехфазных трансформаторов

Питание подведено к зажимам	Отклонение стрелки гальванометра, присоединенного к зажимам					
	ab	bc	ca	ab	bc	ca
Для группы 0	+	+	+	+	+	+
Для группы 1	+	+	+	+	+	+
Для группы 2	+	+	+	+	+	+
Для группы 3	+	+	+	+	+	+
Для группы 4	+	+	+	+	+	+
Для группы 5	+	+	+	+	+	+
Для группы 6	+	+	+	+	+	+
Для группы 7	+	+	+	+	+	+
Для группы 8	+	+	+	+	+	+
Для группы 9	+	+	+	+	+	+
Для группы 10	+	+	+	+	+	+
Для группы 11	+	+	+	+	+	+
Для группы 12	+	+	+	+	+	+

Питания на зажимы АВ «плюс» гальванометра должен быть подключен к зажиму с трансформатора, а «плюс» источника к зажиму А трансформатора.

Проверка группы соединения трехфазных трансформаторов и полярности выводов однофазных трансформаторов производится при наладке, если отсутствуют паспортные данные или есть сомнения в достоверности имеющихся данных. Группа соединений должна соответствовать паспортным данным и обозначением на шитке трансформатора.

К выводам ab, bc, ca обмотки НН поочередно присоединяют гальванометр. Отмечается отклонение стрелки гальванометра при включении источника питания и записывается в таблицу (отклонение вправо обозначается знаком плюс, влево — минус). Таким же образом производится питание к выводам BC и CA и записываются знаки отклонения стрелки гальванометра, подключаемого к выводам ab, bc, ca.

На рис. 6.16 приведены схемы соединений и соответствующие им таблицы для определения группы соединений трехфазных трансформаторов методом постоянного тока для стандартных групп 12 и 11. Полученные данные сравниваются с данными, приведенными в табл. 6.6.

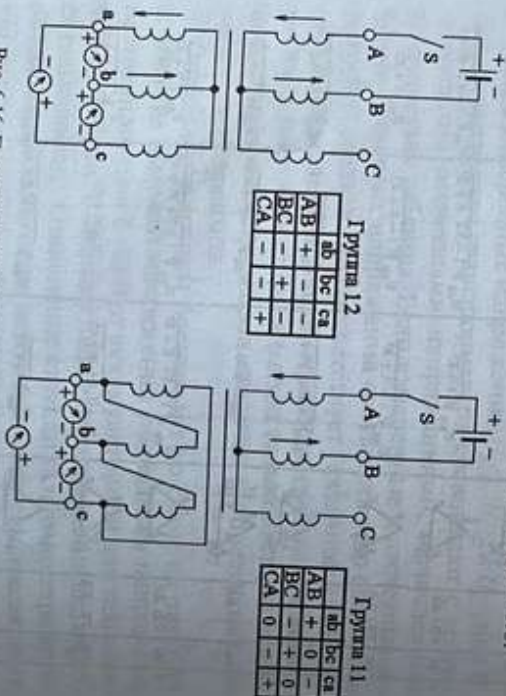


Рис. 6.16. Проверка группы соединения трансформатора методом постоянного тока с помощью гальванометра

При проверке группы соединения обмоток трансформатора необходимо строго следить за правильным подключением полярности источника тока и гальванометра. Табл. 6.6. составлена при условии, что плюсовой вывод источника тока и плюсовой зажим гальванометра подключаются к зажиму, обозначенному в таблице первым.

Так, например, при определении отклонения стрелки гальванометра, подключаемого к зажимам ca, при подаче

6. Проверка условия допустимости параллельной работы трансформаторов.

При включении трансформаторов на параллельную работу важным является распределение нагрузки между ними пропорционально их номинальной мощности. Такое распределение нагрузки возможно лишь при соблюдении определенных условий. Этими условиями являются:

- тождественность (равенство) групп соединений обмоток;
- равенство коэффициентов трансформации;
- равенство напряжений короткого замыкания.

Параллельная работа трансформаторов с различными группами соединения возможна в следующих случаях — между четными группами соединения 0, 4 и 8 или 6, 10 и 2; между нечетными группами 11, 3 и 7 или 5, 9 и 1. В этих случаях путем крутовой перестановки выводов группы приводятся друг к другу. Параллельная работа трансформаторов с разными группами соединений недопустима, так как между ними будут циркулировать неравнительные токи, которые в ряде случаев во много раз превышают номинальные. Это обусловлено тем, что между их вторичными обмотками возникает напряжение, обусловленное углом сдвига φ между векторами вторичных напряжений.

В случае включения на параллельную работу трансформаторов с разными коэффициентами трансформации напряжения на зажимах их вторичных обмоток будут различными. Разность вторичных напряжений вызывает протекание уравнительных токов, которые увеличивают потери энергии и снижают суммарную трансформаторную мощность подстанции.

Согласно ГОСТ для силовых трансформаторов с коэффициентом трансформации, меньшим 3, допускаемое отклонение значений коэффициентов трансформации $\pm 1\%$, для всех прочих трансформаторов $\pm 0,5\%$.

Напряжения короткого замыкания должны быть равны или допускать отклонение не более чем $\pm 10\%$ среднеарифметического напряжения короткого замыкания. Различия в значениях напряжений КЗ трансформаторов обуславливает распределение между ними общей нагрузки обратно пропорционально напряжениям короткого замыкания.

Наилучшее использование установленной мощности трансформаторов может быть только при равенстве напряжений КЗ.

Параллельная работа трансформаторов с разными (сверх допусков) коэффициентами трансформации, с разными напряжениями КЗ может быть допущена при определенных условиях, что ни один из трансформаторов при этом не будет перегружен.

При включении на параллельную работу трансформаторов с разными значениями напряжения КЗ некоторое перераспределение нагрузок может быть достигнуто изменением коэффициента трансформации при помощи переключателя ответвлений.

Не рекомендуется включение на параллельную работу трансформаторов с отношением их номинальных мощностей более трех. Объясняется это тем, что даже при небольших эксплуатационных перегрузках трансформатор меньшей мощности может оказаться сильно перегруженным в процентном отношении и особенно в том случае, если он имеет меньшее значение напряжения короткого замыкания U_k .

7. Фазировка силовых трансформаторов. Перед включением трансформаторов на параллельную работу должна быть проверена тождественность фаз напряжений включаемого трансформатора и сети. В противном случае возможно появление значительных уравнительных токов между параллельно работающими трансформаторами, которые приведут к ограничению мощности или значительной перегрузке трансформатора, а при несовпадении чередования фаз — к короткому замыканию.

Такая проверка называется фазировкой и заключается в измерении напряжения между разноименными фазами включаемого трансформатора и сети и определения отсутствия напряжения между одноименными фазами. Фазировка производится с помощью вольтметров и трансформаторов напряжения, если фазировочные напряжения более 380 В. На напряжение 2–10 кВ фазировка может производиться с помощью указателей напряжения.

Во всех случаях для исключения ошибок фазировочные напряжения должны быть одинаковыми (допускается

отклонение не более 10%). Измерения или проверка должны производиться между всеми одноименными, а также между каждой из них и двумя остальными разноименными фазами.

При наличии заземления (рис. 6.17 а) достаточно просто произвести измерения или проверку с помощью вольтметра или какого-либо индикатора напряжения, так как электрически замкнутый контур, необходимый для измерения, образуется заземлением.

При отсутствии заземления (рис. 6.17 б) для образования замкнутого электрического контура необходимо перед производством измерений или проверкой соединить любую пару предполагаемых одноименных фаз с помощью временной перемычки.

Если при измерении оказывается, что между одноименными фазами $a_1 - a_2$, $b_1 - b_2$, $c_1 - c_2$ напряжение отсутствует, а между одной из одноименных и противоположными разноименными $a_1 - b_2$, $a_1 - c_2$, $b_1 - a_2$, $b_1 - c_2$, $c_1 - a_2$, $c_1 - b_2$ напряжение есть и примерно одинаково (рис. 6.18.), то такой трансформатор может быть включен в сеть или на параллельную работу.

Перед фазировкой на высоком напряжении с помощью трансформаторов напряжения у последних должна быть проверена фазировка между собой подаций на них одного и того же напряжения.

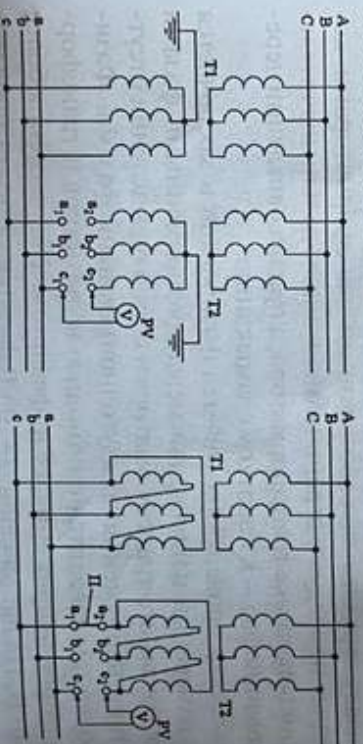


Рис. 6.17. Фазировка силовых трансформаторов на низком напряжении: Т1 — рабочий трансформатор; Т2 — фазировочный трансформатор; П — перемычка

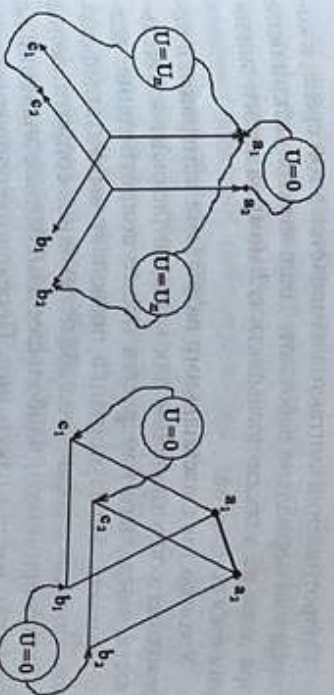


Рис. 6.18. Векторные диаграммы для нормального случая фазировки трансформаторов

8. Настройка переключающих устройств. Объем и методика наладки переключающих устройств определяется принципом их действия. По принципу регуляторы подразделяются на осуществляющие переключения без возбуждения (ПВВ) и без отключения напряжения и нагрузки (РПН, РНТ, РНОА и др.). Во всех перечисленных устройствах конструктивно используется ступенчатое регулирование.

Основными проверками переключающих устройств являются проверка работы отдельных элементов и их взаимодействия в механизме привода и проверка последовательности переключения контактов контактора, избирательности переключателя. Одновременно проверяется регулировка контактов измерением сопротивления постоянному току и силы контактного нажатия контактов.

В объем испытания переключающих устройств после капитальных ремонтов включается измерение последовательности сопротивления контактов, проверка работоспособности действий контактов, проверка работы отдельных элементов и их взаимодействия в механизме привода. Сила контактного нажатия проверяется только после ремонта контактной системы. Изоляция проверяется вместе с трансформатором. Переходное сопротивление постоянному току измеряется при ревизии переключающего устройства. Измерение производится методом падения напряжения или при помощи мостов, непосредственно измеряющих электрическое сопротивление.

Сопротивление контактов измеряется в той среде, в которой они нормально работают. Ток в электрической цепи при этом не должен превышать $1/3$ номинального значения тока контактов.

У контактов с несколькими разрывами измеряются переходные сопротивления для каждого разрыва в отдельности, после чего измеряется общее сопротивление всего контакта. Такая методика позволяет выявить дефектное контактное соединение. За переходное сопротивление контакта принимаю наибольшее измеренное значение не менее чем из трех измерений. Переходное сопротивление единичного контакта, измеренное микроомметром, должно находиться в пределах $10-20$ мкОм.

Независимо от схемы измерения сопротивления потенциальные концы для измерения падения напряжения должны быть короткими (порядка $0,5$ м) и иметь малое по сравнению с электрическим сопротивлением прибора собственное сопротивление (в 100 раз меньше), чтобы не вносить погрешности в результаты измерений. Измерение силы контактного нажатия производится при помощи переклюющего устройства или отдельных контактных соединений избирателя, предвыбирателя или контактора. Для определения силы контактного нажатия динамометром измеряется минимальное значение силы, при котором контакт отжимается.

Момент разрыва контакта определяется по погасанию сигнальной лампы, включенной последовательно с ним, либо по освобождению зажатого между контактами шупа или бумажной прокладки толщиной не более $0,1$ мм. При этом испытании сила должна быть направлена вдоль контактного нажатия. За силу контактного нажатия принимается среднее арифметическое значение из трех измерений. Разброс в измерениях не должен быть больше $+10\%$ среднего значения. Проверка последовательности действий контактов производится у всех переключающих устройств с регулированием напряжения под нагрузкой. У медленно действующих устройств типа РНТ для этого снимается круговая диаграмма, действующая устройств типов РНОА, РНТА и подобных им осциллографируется, кроме того, процесс работы контактора.

Последовательность действий контактов избирателя переклюющего устройств проверяется при одном обороте выходного вала приводного механизма. (Поэтому диаграмма действий контактов переклюющего устройства называется круговой.)

Круговая диаграмма снимается на полностью собранном переклюющем устройстве, залитом маслом. По круговой диаграмме судят о правильности сборки регулировки избирателя, предвыбирателя и контактора. У трехфазных переклюющих устройств круговая диаграмма снимается пофазно или одновременно для трех фаз. У трехфазных переклюющих устройств с токоограничивающими реакторами и отдельным контактором круговая диаграмма снимается при полном обороте выходного вала привода (по направлению движения и против движения часовой стрелки); у переклюющих устройств с токоограничивающими сопротивлениями круговая диаграмма снимается при переключении контактов избирателя на два положения независимо от частоты вращения выходного вала привода.

У переклюющих устройств без контакторов круговая диаграмма снимается во всем диапазоне регулирования напряжения (от первого положения избирателя до последнего) в двух направлениях (прямом и обратном). При наличии реверсирования регулировочной обмотки круговая диаграмма снимается и в том диапазоне регулирования, в котором переключаются контакты предвыбирателя (реверсора).

Круговая диаграмма снимается методом сигнальных ламп или методом осциллографа. Метод сигнальных ламп, как более простой, получил широкое распространение. Электрическая часть схемы собирается так, чтобы в моменты замыкания или размыкания контактов избирателя, предвыбирателя или контактора загорались или тухли сигнальные лампы или показывающие приборы, например омметр.

Метод осциллографа для снятия круговой диаграммы используется при наладке переключательных устройств в стационарных условиях. При снятии круговой диаграммы используются магнитоэлектрические переносные

осциллографы (типов Н-105, МПО-2). Настройка осциллографа выполняется таким образом, чтобы моменты срабатывания контактов переключающего устройства выбраторов отмечали на осциллограмме. Для питания цепи выбраторов лучше использовать источник постоянного тока до 2А, напряжением до 24В. Время срабатывания и продолжительность действия отдельных контактов вычисляются по кривой отсечки времени.

Наладка переключающего устройства типа ПБВ. Для оценки правильности монтажа переключающих устройств этого типа измеряются сопротивления постоянному току регулируемой обмотки во всех положениях и проверяется коэффициент трансформации. Для оценки результатов измерений следует четко знать, что переключающие устройства типа ПБВ собираются электрически так, что наибольшее электрическое сопротивление они имеют в положении I. Во всех остальных положениях сопротивления должны быть меньшими. При наладке переключающих устройств типа ПБВ часто имеет место несоответствие значений сопротивлений положениям избирателя. Чтобы устранить это несоответствие, избиратель устанавливается в положение, дающее при измерениях наибольшее значение электрического сопротивления. После этого, не трогая приводной механизм, разбирают головку привода и крышку привода устанавливают так, чтобы указатель был против положения I. Снова измеряют сопротивление постоянному току и проверяют коэффициент трансформации на всех ответвлениях.

При наладке трехфазных переключающих устройств ПБВ проверка правильности сборки переключающего устройства осуществляется измерением сопротивления между фазами и сравнением результатов измерений, которые практически должны быть одинаковыми.

Испытание переключающих устройств типа РНТ. В процессе наладки переключающих устройств типа РНТ производятся контроль состояния контактов предызбирателя, избирателя и контактора и снятие круговой диаграммы работы переключающего устройства. Контроль состояния контактов избирателя, предызбирателя и контакто-

ра осуществляется при ревизии силового трансформатора, когда к переключающему устройству имеется свободный доступ. От ручного привода поворачивают вал и наблюдают при этом за работой контактов избирателя во всех положениях. Проверяются переходные электрические сопротивления контактов и регулировка контактных пружин. Для этого динамометр механически зацепляется за один из подвижных контактов, и контакт отгибается до тех пор, пока на приборе, фиксирующем наличие контакта, не отклонится стрелка, указывая на разрыв цепи, или не выпадет контрольный шуп. В момент замыкания электрической цепи или выпадения шупа регистрируют показания динамометра. После ремонта избирателя такая проверка производится на каждом контакте; в процессе наладки это делается только на тех контактах, которые показали неудовлетворительные результаты при измерениях переходных электрических сопротивлений. Сила нажатия контактных пружин должна быть в пределах величин, приведенных в табл. 6.7.

После проверки контактной системы избирателя и контактора снимается круговая диаграмма переключающего устройства на полностью собранном трансформаторе.

Для пояснения рассмотрим снятие круговой диаграммы регулирующего устройства типа РНТ-13 без выведенной средней точки реактора (наиболее часто встречающийся тип регулирования — рис. 6.19). Диаграмма у этого устройства снимается в два этапа: сначала плеча I_1-K_1 , затем плеча I_2-K_2 или наоборот. Для этого между контакта-

Таблица 6.7.
Сила нажатия контактных пружин

Тип переключающего устройства	Сила нажатия избирателя	Сила нажатия пружин на контакты, кгс	
		главные	дугоснабительные
РНТ-20	5-6	8-10	5-7
РНТ-18	6-8	25-30	13-18
РНТ-13	5-6		
РНТ-9	3-4	8-10	