

Методика

проведения испытаний силовых трансформаторов 6 — 10 кВ.

Назначение методики выполнения измерений.

Данная методика предназначена для проведения испытаний силовых трансформаторов 6—10 кВ. Эти испытания необходимы для обеспечения бесперебойного питания электроприёмников, безаварийной работы электрооборудования.

В методику входит измерение сопротивления изоляции, измерение потерь холостого хода, измерение сопротивления обмоток постоянному току, определение коэффициента трансформации и группы соединения обмоток, проверка работы переключающего устройства, испытание вводов и испытание повышенным напряжением трансформаторов до 10 кВ.

Условия проведения измерений.

Испытание силовых трансформаторов 6—10 кВ проводится в атмосферных условиях близких к нормальным:

температура изоляции не ниже +10°;

относительная влажность воздуха не более 90 %;

характеристики изоляции допускается измерять не ранее чем через 12 часов после окончания заливки трансформатором маслом;

измерения и испытания проводятся при наличии протокола испытания трансформаторного масла из силового трансформатора, указывающего на пригодность масла к эксплуатации;

наружная изоляция силового трансформатора должна быть очищена от грязи и пыли и не иметь видимых повреждений.

Метод измерения-испытания.

Измерение тока и потерь холостого хода (XX).

Измерение потерь XX силовых трансформаторов, автотрансформаторов и масляных реакторов необходимо выполнять до испытаний, связанных с воздействием на трансформатор постоянного тока (измерение сопротивления обмоток, определения группы соединения и т.п.), для исключения погрешностей, вызываемых влиянием остаточного намагничивания магнитопровода. Схема для измерения потерь XX однофазного трансформатора показана на рисунке 1а, а для измерения потерь в трехфазном трансформаторе — рисунке 1б.

Однако у трансформатора с трехстержневым магнитопроводом потери чаще всего измеряют при однофазном возбуждении, производя три опыта с поочередным замыканием накоротко одной из двух фаз и возбуждением двух других. Потери XX определяют, возбуждая обмотку низшего напряжения напряжением 220-380 В. Для вводимых в эксплуатацию трансформаторов измеренные значения потерь XX не должны отличаться от заводских данных (частота и подведенное напряжение должны соответствовать заводским) более чем на 5%. В эксплуатации значение потерь XX не нормируется.

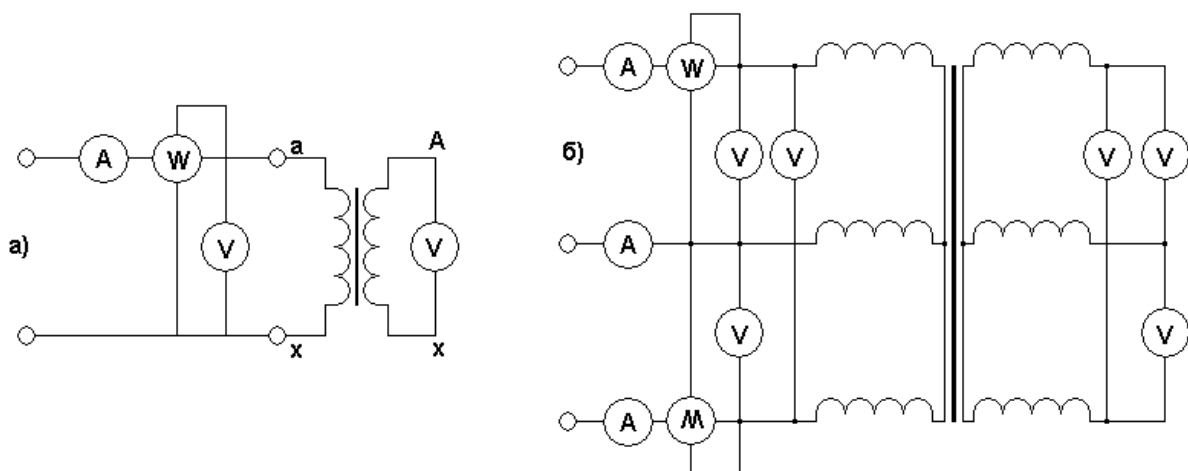
Измерение сопротивления изоляции силового трансформатора.

Сопротивление изоляции силового трансформатора измеряется мегомметром на напряжение 2500В.

Показания мегомметра отсчитываются через 15с (R15) и 60с (R60) после приложения напряжения к обмотке. Коэффициент абсорбции, отношение R60/R15, не нормируется, но во всех случаях он должен быть не менее 1,2. Верхний предел коэффициента абсорбции не ограничивается.

Перед началом измерения все обмотки должны быть заземлены не менее чем на 2 мин, а между отдельными измерениями не менее чем на 5 мин. При измерениях трехфазного трансформатора все выводы обмоток одного класса напряжения соединяются вместе.

Схема измерения для шунтирующих реакторов ВН=корпус+земля; для заземляющих реакторов ВН=НН+корпус+земля.



Схемы опытов холостого тока однофазного (а) и трехфазного (б) трансформатора.

Схемы для измерения приведены в таблице 1.

№	Контролируемая зона	Точка присоединения выводов мегомметра		
		R_x		Э
Двухобмоточный трансформатор				
1	НН - (ВН+Б)	НН	ВН+Б	---
2	ВН - (НН+Б)	ВН	НН+Б	---
3	(ВН+НН) - Б	ВН+НН	Б	---
Трехобмоточный трансформатор				
4	НН - (ВН+СН+Б)	НН	ВН+СН+Б	---
5	СН - (ВН+НН+Б)	СН	ВН+НН+Б	---
6	ВН - (НН+СН+Б)	ВН	НН+СН+Б	---
7	(НН+СН+ВН) - Б	НН+СН+ВН	Б	---

Измерение сопротивления обмоток постоянному току.

Измерение производится мостом постоянного тока Р333 при температуре обмотки в пределах $20 \pm 5 \text{ C}^0$. Возможно производить измерение сопротивления обмоток постоянному току при температуре отличающейся от $20 \pm 5 \text{ C}^0$, но при условии, что измеренные значения сопротивления будут приведены к температуре 20 C^0 .

Сопротивления обмоток измеряются на всех ответвлениях обмотки. В аппаратах с нулевым выводом измеряются фазные сопротивления, а при отсутствии нулевого вывода сопротивления обмоток между линейными выводами. Сопротивления постоянному току, полученные на одинаковых ответвлениях разных фаз и приведенные к одной температуре, не должны отличаться более чем на 2%, за исключением случаев, указанных в паспорте или заводском протоколе. Отклонение значения сопротивления обмотки приведенного к 20 C^0 от указанного в паспорте должно быть не более $\pm 2\%$.

Определение коэффициента трансформации.

Измерение коэффициента трансформации выполняется на всех ступенях переключателя ответвлений. Коэффициент трансформации необходимо измерять методом двух вольтметров при одновременном измерении напряжения на обмотках. Испытание производится путем подачи напряжения 380/220В на обмотку высшего напряжения.

У трехобмоточных трансформаторов достаточным считается определение коэффициента трансформации двух пар обмоток. Как правило, определяется коэффициент трансформации между обмотками ВН-НН и СН-НН. При таком выборе пар обмоток коэффициент трансформации определяется на всех регулировочных ответвлениях, так как регулирование напряжения осуществляется на одной из обмоток (ВН или СН). Кроме того, у

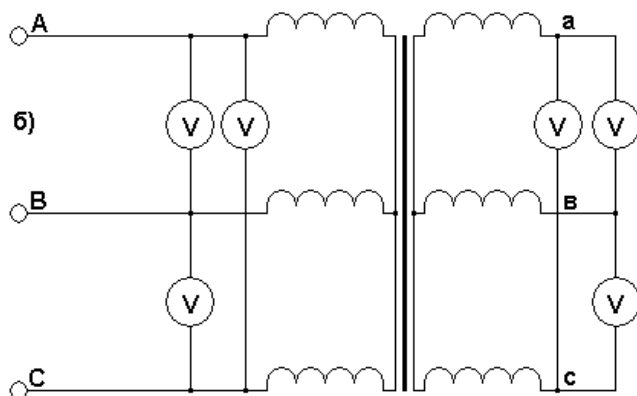


Рисунок 2. Схема определения коэффициента трансформации.

некоторых трехобмоточных трансформаторов на обмотке ВН имеется РПН, а на обмотке СН- ПБВ и при указанном выборе пар обмоток испытание не усложняется.

Схемы определения коэффициента трансформации приведены на [рисунке 2](#).

Для того чтобы не допускать ошибок, при измерении коэффициента трансформации, необходимо производить измерение напряжения одновременно на всех вольтметрах, что важно при возможных колебаниях в сети 380/220 В. Измеренный коэффициент трансформации не должен отличаться более чем на 2% от коэффициента трансформации того же ответвления других фаз.

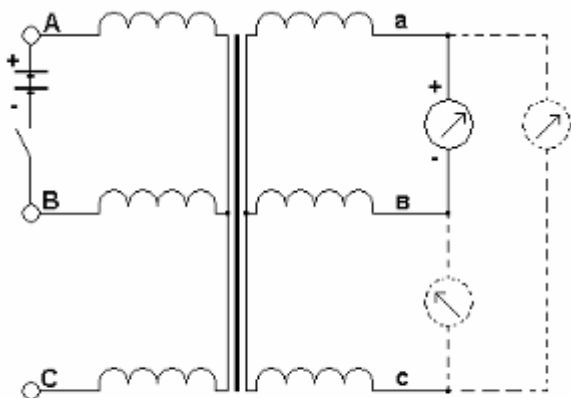


Схема проверки группы соединения обмоток.

Рисунок 3.

Проверка группы соединения обмоток.

Проверка группы соединения обмоток трехфазных трансформаторов производится для установления идентичности групп соединения трансформаторов предназначенных для параллельной работы. Проверка производится при монтаже в случае отсутствия паспортных или заводских данных. В эксплуатации проверка производится при ремонтах с частичной или полной сменой обмоток.

Схема проверки полярности и группы соединения обмоток приведена на [рисунке 3](#).

На обмотку ВН подают напряжение 2-4 в постоянного тока, а к обмотке НН попеременно к каждой фазе подключают гальванометр с нулём по середине шкалы. По отклонению стрелки гальванометра вправо или влево и отсутствию отклонения при помощи [таблицы 2](#) определяют группу соединения трансформатора.

При определении правильности обозначений выводов необходимо руководствоваться тем, что при одноименных выводах отклонение прибора будет максимальным по сравнению с отклонением прибора при подключении к разноименным выводам.

	Группа соединения обмоток трансформатора											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Угол смещения ЭДС	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Обмотка НН	Отклонение стрелки гальванометра											
а-в	←	←	↑	→	→	→	→	→	↑	←	←	←
в-с	→	→	→	→	↑	←	←	←	←	←	↑	→
а-с	↑	→	→	→	→	→	↑	←	←	←	←	←

Проверка работы переключающего устройства.

Заключение о правильности монтажа переключающих устройств делается по результатам измерений сопротивления постоянному току регулируемой обмотки на всех положениях и проверки коэффициента трансформации. Измерение сопротивлений производится по схеме, приведенной на [рисунке 4](#).

Переключающее устройство типа ПБВ имеет наибольшее сопротивление в первом положении. Во всех остальных положениях сопротивления должны быть меньше.

Для проверки правильности сборки трехфазного переключающего устройства производится измерение сопротивления между фазами. При правильной сборке эти сопротивления должны быть одинаковыми.

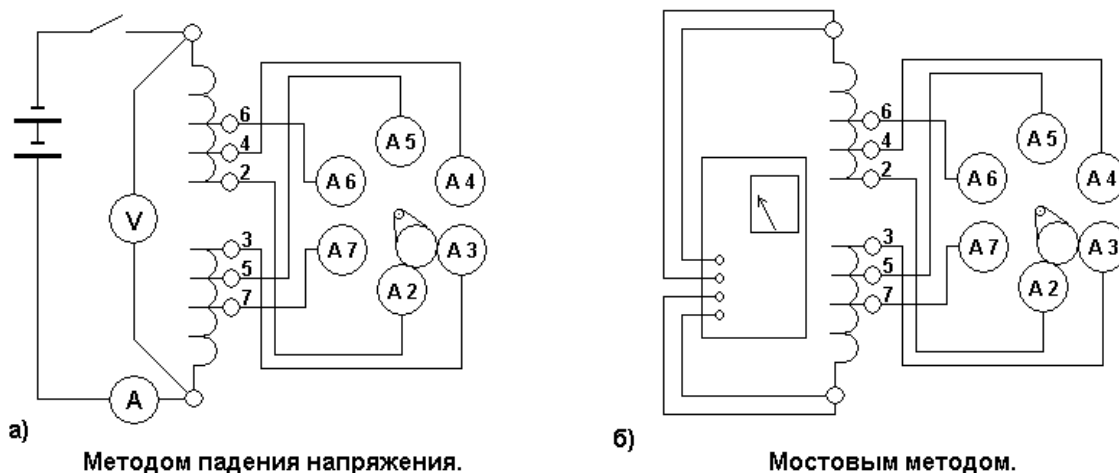


Рисунок 4.

Испытание силовых трансформаторов повышенным напряжением промышленной частоты.

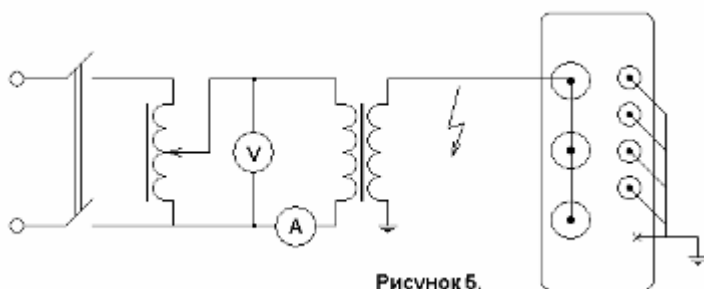


Рисунок 5.

Испытание изоляции обмоток трансформаторов повышенным напряжением переменного тока от постороннего источника производится вместе с вводами. Испытательное напряжение зависит от класса изоляции оборудования. Схема для испытания трансформатора повышенным напряжением частоты 50 Гц показана на [рисунке 5](#). Время испытания составляет 1 мин.

При отсутствии испытательной установки необходимой мощности испытание

обмоток трансформаторов может не производиться.

Значение испытательного напряжения частотой 50 Гц приведено в [таблице 3](#).

Таблица 3

Номинальное напряжение обмотки, кВ.	6	10	35
Испытательное напряжение, кВ, обмоток трансформатора с изоляцией:			
нормальной	22.5	31.5	76.5
облегченной	14.4	21.6	—

Средства измерения.

Для измерения сопротивления изоляции применяют мегомметр Ф 4102/2-1М (или подобный). Диапазон измерения от 0 до 50000 МОм. Класс точности 1,5 по ГОСТ 8.401—80. Предел допускаемого значения основной погрешности равен ±1,5 % от длины шкалы.

Для измерения сопротивления обмоток постоянному току применяют измерительный мост постоянного тока Р333. Класс точности моста и предел допускаемой основной погрешности показаний моста, выраженный в процентах от номинального значения измеряемого сопротивления, указаны в [таблице 4](#).

Класс точности	Предел допускаемой основной погрешности, %	Диапазон измерения, Ом
0,5	$\pm 0,5$	от 1 до 99990
1,0	$\pm 1,0$	от 0,1 до 0,9999
5,0	$\pm 5,0$	от 0,005 до 0,0999
		от 100000 до 999900

Для проведения испытаний повышенным напряжением частоты 50 Гц используют передвижную в/в лабораторию СПЭИИ.

Для измерения потерь ХХ, сопротивления КЗ и коэффициента трансформации силового трансформатора применяют измерительный комплект К540 и прибор Э531.

Подготовка к выполнению измерений.

Перед началом проведения измерений - испытаний необходимо:

- ознакомиться с паспортом завода изготовителя силового трансформатора (если имеется)
- выполнить организационные и технические мероприятия необходимые для производства испытаний.
- произвести визуальный осмотр наружной изоляции силового трансформатора (наличие сколов, механических повреждений и т.п.)

Выполнение измерений.

Измерение тока и потерь холостого хода.

Для измерения потерь ХХ применяем измерительный комплект К540.

Потери ХХ определяем, возбуждая, обмотку низшего напряжения напряжением 220 В. Производим три опыта с поочередным замыканием накоротко одной из двух фаз и, возбуждением двух других:

Первый опыт - закорачивается А (выводы АС), возбуждаются фазы В и С.

Второй опыт - закорачивается В (выводы АВ), возбуждаются фазы А и С.

Третий опыт - закорачивается С (выводы ВС), возбуждаются фазы А и В.

Производим отсчет измерений тока, напряжения и мощности по шкале приборов установленных на измерительном комплекте К540. В рабочий журнал заносим измеренные значения.

Измерение сопротивления изоляции силового трансформатора.

При измерениях сопротивления изоляции трехфазного трансформатора все выводы обмоток одного класса напряжения соединяются вместе.

Установить прибор (мегомметр) в горизонтальное положение. Снять крышку прибора и закрепить её на боковой стенке в предусмотренных гнездах. В отсек питания установить сетевой блок, при питании от сети или 9 элементов АЗ73 при питании от химических источников тока. К клемме «┴» подключить шнур соединительный первый, к клемме с охранным кольцом и к клемме «Э» подключить шнур соединительный второй в соответствии с маркировкой. Установить переключатель измерительных напряжений в нужное положение.

При разомкнутых зажимах R_x , нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ 1» и установить ручкой «УСТ.∞» указатель мегомметра на отметку (∞).

Замкнуть зажимы R_x , нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ 1» и установить ручкой «УСТ. 0» указатель прибора на отметку (0), а затем, нажав обе кнопки «ИЗМЕРЕНИЕ 2», проверить установку указателя на отметку (0).

В случае отклонения указателя от отметки (0), установить указатель в первом и во втором случае так, чтобы отметка (0) оказалась посередине этих двух показаний.

Подключить мегомметр так, чтобы соединительный провод от клеммы «┴» подсоединялся к заземленному баку трансформатора, а второй соединительный провод от клеммы с охранным кольцом - к одному из выводов незаземленной обмотки (согласно схемам, приведенным в таблице 1.).

Для проведения измерений нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ 1», подав тем самым на объект измерения высокое напряжение. На время измерения держать кнопку нажатой.

Произвести отсчет значений измеряемого сопротивления по шкале 1, через 15с и 60с после подачи на объект повышенного напряжения.

При необходимости проведения измерений с повышенной точностью, не отпуская кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ 1», нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ 2» и сделать отсчет измеряемого сопротивления по шкале 2. Измеренные значения сопротивления изоляции силового трансформатора записать в рабочую тетрадь. Аналогичные замеры провести для других схем измерения.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току.

Для измерения сопротивления обмоток постоянному току применяют мост постоянного тока Р333. В аппаратах с нулевым выводом измеряются фазные сопротивления, а при отсутствии нулевого вывода — сопротивления обмоток между линейными выводами.

Измерение сопротивления обмоток (оно находится в пределах от 0,005 до 99,99 Ом) производится по четырех зажимной схеме включения моста, для чего необходимо:

- перемычку, соединяющую зажимы 1 и 2 прибора отсоединить;
- измеряемое сопротивление присоединить к зажимам 1,2,3 и 4 с помощью четырех проводников (сопротивление проводников должно быть не более 0,005 Ом);
- переключатель схемы поставить в положение «МВ»;
- установить переключатель плеч отношений на соответствующий множитель, в зависимости от предполагаемой величины R_x ;

- установить на четырех декадах сравнительного плеча ожидаемое сопротивление;
- нажать кнопку «ВКЛЮЧ. ГАЛЬВАНОМЕТРА» и переходить на измерение при нажатой кнопке «ГРУБО». Уравновешивание схемы производится ручками переключателей П1 — П4 до тех пор, пока стрелка гальванометра не станет на нуль;
- нажать кнопку «ТОЧНО» и окончательно уравновесить мост;
- после окончания измерений кнопки «ТОЧНО», «ГРУБО» и «ВКЛЮЧ. ГАЛЬВАНОМЕТРА» отжать.

Аналогичные замеры провести при других сочетаниях и на других обмотках.

Проверка коэффициента трансформации силового трансформатора.

Измерение коэффициента трансформации выполняется на всех ступенях переключателя ответвлений. Коэффициент трансформации измеряем методом двух вольтметров (с применением К540 или К505) при одновременном измерении напряжения на обмотках. Испытание производим путем подачи напряжения 380/220 В на обмотку высшего напряжения. Начиная с первого положения (РПН или ПБВ) ступени производим измерение напряжения одновременно на всех вольтметрах, что важно при возможных колебаниях в сети 380/220 В. Измеренные значения напряжения заносим в рабочую тетрадь.

Аналогичные измерения напряжения производим на других ответвлениях.

Проверка группы соединения обмоток.

Проверка производится при монтаже в случае отсутствия паспортных (или заводских) данных, а также в эксплуатации при ремонтах с частичной или полной сменой обмоток трансформаторов.

При определении правильности обозначений выводов необходимо руководствоваться тем, что при одноименных выводах отклонение прибора будет максимальным по сравнению с отклонением прибора при подключении к разноименным выводам. Для трехфазных трансформаторов схема соединения обмоток «Y/Yn» батарея подключается к выводам обмотки ВН фазы А и С, причем «+» батареи присоединяется к фазе А. Прибор соединяется с нулевым выводом и фазным выводом «а» обмотки НН. Затем с фазными выводами «в» и «с», рубильник «Р» включается и выключается. Если при включении рубильника: отклонение прибора вправо (значительное), то «+» прибора присоединен к зажиму «а» обмотки НН; показания прибора «0» или незначительно отклонено вправо или влево, то прибор подключен к зажиму «в» обмотки НН; отклонение прибора влево (значительное), то «+» прибора подключен к выводу «с» обмотки НН.

Проверка работы переключающего устройства.

Заключение о правильности монтажа переключающих устройств этого типа делается по результатам измерений сопротивления постоянному току (мостом Р333) регулируемой обмотки на всех положениях и проверки коэффициента трансформации.

Переключающее устройство типа ПБВ имеет наибольшее сопротивление в положении *1*. Во всех остальных положениях сопротивления должны быть меньше. Положение *1* соответствует замыканию стержней 2 и 3; положение *2* — стержней 3 и 4; положение *3* — стержней 4 и 5; положение *4* — стержней 5 и 6; положение *5* — стержней 6 и 7 и положение *6* — стержней 7 — 2. Из схемы изображенной на рисунке 4 можно заключить, что положения *3* и *6* одинаковы по электрическим соединениям ответвлений обмотки и поэтому при измерениях на этих положениях получается одинаковое сопротивление. В переключателях используется пять положений, но необходимо производить проверку на всех шести положениях.

Для проверки правильности сборки трехфазного переключающего устройства производим измерение сопротивления обмоток трансформатора между фазами. При правильной сборке эти сопротивления должны быть одинаковыми.

Испытание силового трансформатора повышенным напряжением.

Высоковольтный вывод испытательной установки присоединяем к одному из выводов обмотки. Обмотки других классов напряжения закорачиваем и заземляем. Сборку схемы производим в соответствии с инструкцией по эксплуатации передвижной лаборатории.

Подаем на испытательную установку питание. Подъем напряжения осуществляем со скоростью 1-2 кВ/с до максимального испытательного напряжения согласно [таблицы 3](#). По достижении испытательного напряжения производим отсчет времени испытания. При испытаниях не должно быть пробоев, перекрытия изоляции и т.п.

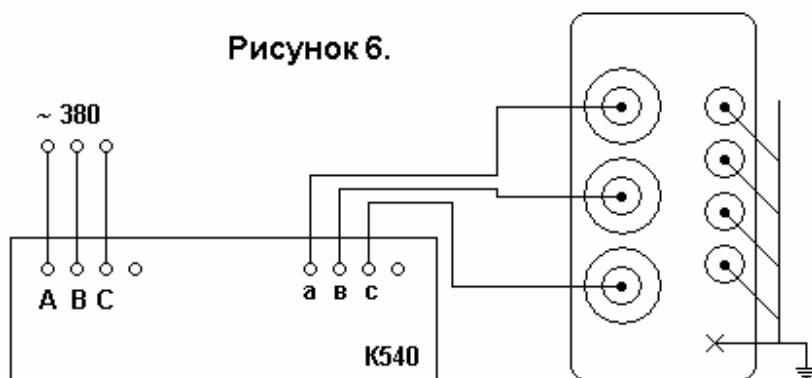
По истечении времени испытания, регулятором напряжения, производим понижение испытательного напряжения до нуля. Заземляем высоковольтный вывод установки и отключаем испытательную установку от питающей сети. Сопротивление изоляции, измеренное после испытания должно быть не меньше, чем до испытания.

Измерение сопротивления КЗ.

Для измерения сопротивления КЗ применяем измерительный комплект К540. Схема измерения изображена на [рисунке 6](#). Сопротивление КЗ определяем, возбуждая обмотку высшего или среднего напряжения трехфазным напряжением 380 В.

Производим отсчет измерений тока и напряжения по шкале приборов установленных на измерительном комплекте К540. В рабочий журнал заносим измеренные значения

Рисунок 6.



Обработка и вычисление результатов измерений.

Ток холостого хода вычисляют по формуле:

$$I_{XX} = k \cdot I$$

Где: k -цена деления амперметра;
 I –показания на шкале амперметра.

Для приведения потерь, измеренных при однофазном возбуждении, к номинальному напряжению вычисляют суммарные потери в трансформаторе:

$$P_o = 0,5 (P_{oав} + P_{oвс} + P_{oас})$$

где: $P_{oав}$, $P_{oвс}$, $P_{oас}$ — измеренные потери при опытах, производимых при одном значении напряжения.

Приведенные потери определяются по формуле:

$$P_{o\text{прив}} = P_o (U_{ном} / U_{п})^n$$

где: $U_{ном}$ — номинальное напряжение обмотки трансформатора, кВ;
 $U_{п}$ — значение приложенного напряжения, кВ;
 n — показатель степени зависящий от сорта стали (принимается $n = 1,8$ для горячекатаной и $n = 1.9$ для холоднокатаной электротехнической стали);
 P_o — потери в трансформаторе вычисленные при однофазных опытах.

Полученные значения тока и потерь XX сравниваем со значениями полученными на заводе изготовителе (если имеются).

Сопротивление обмоток постоянному току измеренное мостом Р333 вычисляется по формуле:

$$R_x = nR$$

где: n — множитель, устанавливаемый на декаде плеч отношений;
 R — сопротивление сравнительного плеча;
 R_x — сопротивление обмотки .

Для сравнения с данными завода изготовителя полученное сопротивление необходимо привести к температуре заводских испытаний. Приведение измеренного сопротивления к необходимой температуре для последующего сравнения производится по формулам:

$$\text{для меди} \quad R_{\text{прив.зав}} = R_x (235 + T_{\text{зав.исп}}) / (235 + T_x)$$

$$\text{для алюминия} \quad R_{\text{прив.зав}} = R_x (245 + T_{\text{зав.исп}}) / (245 + T_x)$$

где: $R_{\text{прив.зав}}$ -сопротивление, соответствующее температуре $T_{\text{зав.исп}}$;
 R_x -сопротивление, соответствующее температуре T_x ;
 $T_{\text{зав.исп}}$ -температура заводских испытаний;
 235 и 245 -постоянные коэффициенты.

Для определения температуры обмотки силового трансформатора (измерение проводится на фазе В) используют следующую формулу:

$$T_x = (R_x - R_{\text{зав.исп}}) (235 + T_{\text{зав.исп}}) / R_{\text{зав.исп}} + T_{\text{зав.исп}}$$

где: $T_{\text{зав.исп}}$ -температура заводских испытаний;
 $R_{\text{зав.исп}}$.сопротивление, измеренное на заводе при температуре $T_{\text{зав.исп}}$.

Сопротивление изоляции сильно зависит от температуры.

Для приведения сопротивления изоляции полученного при измерениях к заводским данным используем следующую формулу:

$$R_{T2} = KR_{T1}$$

где: R_{T1} , R_{T2} -сопротивление изоляции постоянному току при температурах $T1$ и $T2$;
 K -коэффициент, зависящий от типа изоляции (для изоляции класса А=40, для изоляции класса В=60).

Сопротивление изоляции класса А при понижении температуры на каждые $10C^0$ увеличивается в 1,5 раза и наоборот. На основе этого определены следующие коэффициенты приведения результатов измерения к одной температуре (таблица 4):

Таблица 4.

Разность температур $T2-T1, C^0$	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
Коэффициент изменения R_{60}	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4

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

Определение коэффициента трансформации силового трансформатора.

Коэффициент трансформации определяется по формуле:

$$K_{тр} = U1 / U2$$

Где: $U1$ — значение напряжения измеренного на обмотке ВН;

$U2$ — значение напряжения измеренного на обмотке НН.

Коэффициент трансформации при контрольных измерениях не должен отличаться от заводских данных или ранее проведённых измерений более чем на 2%.

Определение группы соединения обмоток силового трансформатора.

По данным, полученным в результате проведения замеров, и таблице 5 определим группу соединения обмоток.

Сопротивление КЗ определяем по формуле

$$Z = U/I$$

Где: U -отсчет напряжения по прибору, В.

I -отсчет тока по прибору, А

Полученные значения сопротивления КЗ сравниваем со значениями, полученными на заводе изготовителе или рассчитанными по паспортным данным напряжения КЗ.

Оформление результатов измерений.

Результаты обработки и вычислений заносим в рабочую тетрадь, с последующим составлением протокола.

Требования к квалификации персонала.

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

Требования к безопасности выполняемых работ.

Работа должна выполняться в соответствии с инструкцией по охране труда.