

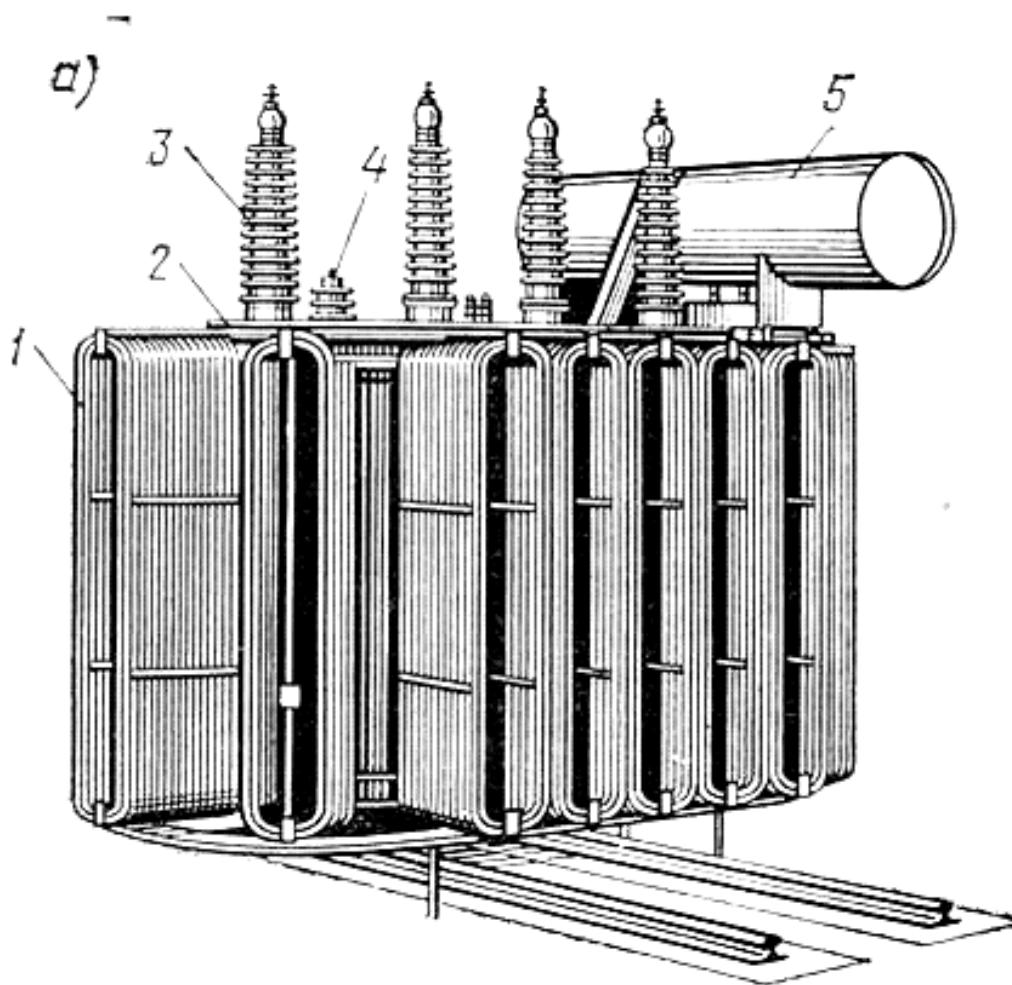
Область применения

Рекомендации настоящей методики распространяются на проведение испытаний силовых трансформаторов всех напряжений и мощностей.

Испытания силовых трансформаторов проводятся для оценки состояния изоляции и выявления образующихся в ней дефектов.

Для изоляции обмоток электрических машин применяется большое количество разнообразных электроизоляционных материалов, выбор которых определяется условиями работы машины и характеризуется нагревостойкостью, относительной влажностью окружающей среды, механической прочностью, озоностойкостью и другими критериями.

Наиболее характерными видами дефектов изоляции обмоток электрических машин являются местные дефекты (трещины, расслоения, воздушные включения, местные перегревы и т.п.), охватывающие незначительную часть площади изоляции.



**Рисунок 1. Трансформатор большой мощности с навесными радиаторами.
1 - навесной радиатор, 2 - бак трансформатора, 3 - вывод обмотки ВН,
4 - вывод обмотки НН, 5 - расширитель,**

Внутренняя изоляция силового трансформатора представляет собой сложное сочетание

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

твёрдого (бумага, картон и т.п.) и жидкого диэлектриков, изменение физико – химических свойств которых происходит неодинаково. Чтобы своевременно выявить ухудшение состояния отдельных компонентов изоляции, производится измерение характеристик изоляции (сопротивление изоляции и тангенс угла диэлектрических потерь и ёмкость) отдельных зон обмоток силового трансформатора.

На рисунке 1 представлен общий вид силового трансформатора большой мощности. Так как в процессе работы в трансформаторе большой мощности выделяется большое количество тепла, к баку пристраиваются радиаторы, у трансформаторов мощностью свыше 10000кВА радиаторы выполняются с устройствами дополнительного охлаждения (вентиляторами).

Объект испытания.

Объектом испытания в силовых трансформаторах являются, прежде всего, активная часть трансформатора, жидкий диэлектрик (для маслонаполненных трансформаторов), изоляция вводов, целостность бака, состояние средств защиты и предохранительные устройства.

Активная часть трансформатора представлена на рисунке 2. Магнитопровод стержневого типа собирается из холоднокатаной электротехнической стали. На магнитопроводе намотаны обмотки НН и ВН. Обмотка НН наматывается ближе к железу трансформатора. Отводы обмоток выполняются с усиленной бумажной изоляцией, если обмотка НН имеет напряжение 0,4кВ, то её отводы выполняются обычно алюминиевой шиной.

Активная часть трансформатора помещена в бак. На крышке бака смонтированы привод переключателя ответвлений обмотки ВН, съёмные выводы НН и ВН, допускающие замену без подъёма активной части, расширитель с маслоуказателем и воздухоочистителем.

Бак трансформатора заполнен жидким диэлектриком (трансформаторным маслом).

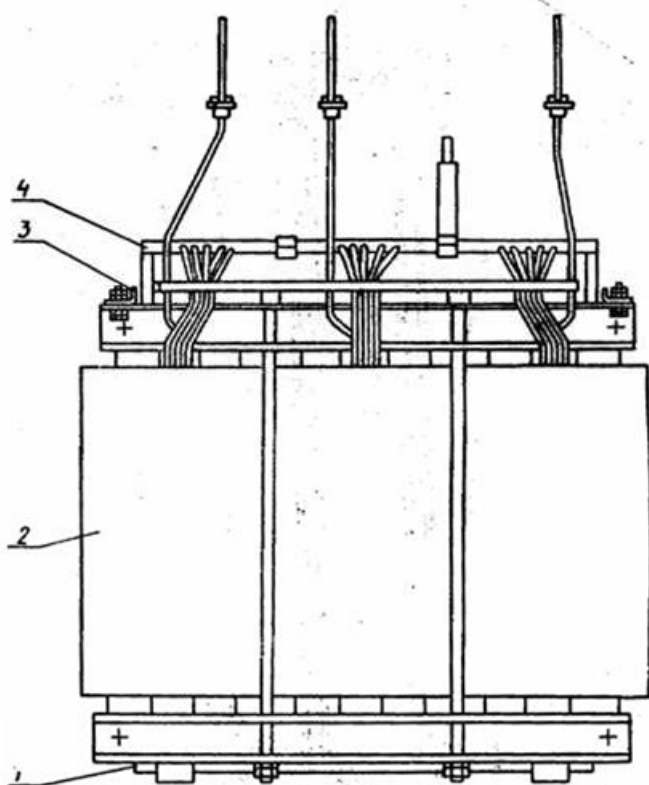


Рисунок 2. Активная часть трансформатора.
1 - магнитопровод, 2 - обмотки ВН и НН, 3 - уголок, 4 - переключатель.

Определяемые характеристики.

Сопротивление изоляции Риз. является основным показателем состояния изоляции обмоток трансформатора и состояния жидкого диэлектрика.

Одновременно с измерением сопротивления изоляции обмоток трансформатора определяют коэффициент абсорбции.

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

Коэффициент абсорбции трансформаторов не нормируется, но для неувлажненной изоляции трансформаторов значение этого коэффициента должно быть не менее 1,3.

Сопротивление изоляции каждой обмотки вновь вводимых в эксплуатацию трансформаторов и трансформаторов, прошедших капитальный ремонт, приведённое к температуре испытаний, при которых определялись исходные значения, должно быть не менее 50% исходных значений.

Для трансформаторов на напряжение до 35кВ включительно мощностью до 10МВА и дугогасящих реакторов сопротивление изоляции обмоток должно быть не ниже следующих значений:

Температура обмоток:	10	20	30	40	50	60	70
R_{60} , (МОм)	450	300	200	130	90	60	40

Сопротивление изоляции сухих трансформаторов при температуре обмоток 20-30 градусов должно быть для трансформаторов с номинальным напряжением:

До 1кВ включительно	- не менее 100 МОм
Более 1кВ до 6кВ включительно	- не менее 300 МОм
Более 6кВ	- не менее 500 МОм.

Измерения в процессе эксплуатации производят при неудовлетворительных результатах испытаний масла и (или) хроматографического анализа газов, растворённых в масле, а также в объёме комплексных испытаний.

При вводе в эксплуатацию и в процессе эксплуатации сопротивление изоляции измеряется по схемам, применяемым на заводе – изготовителе, и дополнительно по зонам изоляции (например, ВН - корпус, НН – корпус, ВН – НН).

Измерение сопротивления изоляции доступных стяжных шпилек, бандажей, полубандажей ярем и прессующих колец относительно активной стали и ярмовых балок, а также ярмовых балок относительно активной стали и электрических экранов относительно обмоток и магнитопровода. Измерения производятся в случае осмотра активной части трансформатора. Измеренные значения должны быть не менее 2 МОм, а сопротивление изоляции ярмовых балок не менее 0,5 МОм.

Хроматографический анализ газов, растворённых в масле. Производится у трансформаторов напряжением 110 кВ и выше, а также блочных трансформаторов собственных нужд.

Хроматографический анализ должен осуществляться в следующие сроки:

- ✚ Трансформаторы напряжением 110 кВ мощностью менее 60 МВА и блочные трансформаторы собственных нужд – через 6 месяцев после включения и далее не реже 1 раза в 6 месяцев.
- ✚ Трансформаторы напряжением 110 кВ мощностью 60 МВА и более, а также все трансформаторы 220-500 кВ в течение первых трёх суток, через 1, 3 и 6 месяцев после включения и далее – не реже 1 раза в 6 месяцев.
- ✚ Трансформаторы напряжением 750 кВ – в течение 3 суток, через 2 недели, 1, 3 и 6 месяцев после включения и далее – не реже 1 раза в 6 месяцев.

Оценка влажности твёрдой изоляции. Производится у трансформаторов напряжением 110 кВ и выше мощностью 60 МВА и более.

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

Допустимое значение влагосодержания твёрдой изоляции вновь вводимых трансформаторов и трансформаторов, прошедших капитальный ремонт – не выше 4% по массе. Влагосодержание твёрдой изоляции в процессе эксплуатации допускается не определять, если влагосодержание масла не превышает 10г/т.

Влагосодержание твёрдой изоляции перед вводом в эксплуатацию и при капитальном ремонте определяется по влагосодержанию заложенных в бак образцов изоляции. В процессе эксплуатации трансформатора допускается оценка влагосодержания твёрдой изоляции расчетным путём.

Периодичность контроля в процессе эксплуатации: первый раз – через 10-12 лет после включения и в дальнейшем – 1 раз в 4-6 лет.

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta$) изоляции обмоток. Измерение производится у трансформаторов напряжением 110кВ и выше.

значение $\text{tg } \delta$ изоляции обмоток вновь вводимых в эксплуатацию трансформаторов и трансформаторов, прошедших капитальный ремонт, приведённых к температуре испытаний, при которых определялись исходные значений, с учётом влияния $\text{tg } \delta$ масла не должно отличаться от исходных значений в сторону ухудшения более чем на 50%.

Измеренные значения $\text{tg } \delta$ изоляции при температуре изоляции 20 градусов и выше не превышающие 1%, считаются удовлетворительными и их сравнение с исходными данными не требуется.

Измерение в процессе эксплуатации производится при неудовлетворительных результатах испытания масла и (или) хроматографического анализа газов, растворённых в масле, а также в объёме комплексных испытаний.

Результаты измерений $\text{tg } \delta$ изоляции обмоток в процессе эксплуатации, включая динамику их изменений, должны учитываться при комплексном рассмотрении данных всех испытаний.

Оценка состояния бумажной изоляции обмоток.

Оценка по наличию фурановых соединений в масле.

Оценка производится у трансформаторов 110 кВ и выше. Оценка производится хроматографическим методом.

Периодичность контроля наличия фурановых соединений составляет 1 раз в 12 лет, а после 24 лет эксплуатации – 1 раз в 4 года.

Допустимое содержание фурановых соединений, в том числе фурфурола, приведено в методике по испытанию трансформаторного масла..

Оценка степени полимеризации.

Оценка производится у трансформаторов 110 кВ и выше.

Ресурс бумажной изоляции считается исчерпанным при снижении степени полимеризации бумаги до 250 единиц.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

Испытание изоляции обмоток вместе с вводами.

Испытание изоляции обмоток маслонаполненных трансформаторов при вводе их в эксплуатацию и капитальных ремонтах без смены обмоток и изоляции необязательно. Испытание сухих трансформаторов обязательно.

При капитальном ремонте с полной сменой обмоток и изоляции испытание повышенным напряжением обязательно для всех типов трансформаторов. При капитальном ремонте с частичной сменой изоляции или при реконструкции трансформатора значение испытательного напряжения равно 0,9 заводского.

Значения испытательных напряжений приведены в таблице 1.

Сухие трансформаторы испытываются по нормам таблицы 1 для облегчённой изоляции.

Продолжительность испытания – 1 минута.

Испытание доступных стяжных шпилек, бандажей, полубандажей ярем и прессующих колец относительно активной части и ярмовых балок, а также ярмовых балок относительно активной стали и электрических экранов относительно обмоток и магнитопровода.

Испытание при вводе в эксплуатацию производится в случае вскрытия трансформатора для осмотра активной части.

Значение испытательного напряжения – 1кВ. продолжительность – 1 минута.

Таблица 1. Значения испытательного напряжения частоты 50 Гц.

Класс напряжения трансформатора (кВ)	Испытательное напряжение (кВ) (в знаменателе указано напряжение для облегчённой изоляции)			
	Силовые трансформаторы, шунтирующие и дугогасящие реакторы.			
	На заводе	При вводе	В эксплуатации	
До 0,69	5,0/3,0	4,5/2,7	4,3/2,6	
3	18,0/10,0	16,2/9,0	15,3/8,5	
6	25,0/16,0	22,5/14,4	21,3/13,6	
10	35,0/24,0	31,5/21,6	29,8/20,4	
15	45,0/37,0	40,5/33,3	38,3/31,5	
20	55,0/50,0	49,5/45,0	46,8/42,5	
35	85,0	76,5	72,3	
	Испытательное напряжение (кВ) для герметизированных трансформаторов			
	На заводе	При вводе	В эксплуатации	
	3	10	9,0	8,5
	6	20	18,0	17,0
	10	28	25,2	23,8
	15	38	34,2	32,3
20	50	45,0	42,5	

Примечание: если оборудование на заводе – изготовителе было испытано напряжением, отличающимся от указанного в таблице 1, испытательное напряжение при вводе в эксплуатацию и в эксплуатации должно быть скорректировано.

Испытание изоляции цепей защитной и контрольно – измерительной аппаратуры, установленной на трансформаторе.

Испытание производится на полностью собранных трансформаторах. Испытывается изоляция (относительно заземлённых частей и конструкций) цепей с присоединёнными трансформаторами тока, газовыми и защитными реле, маслоуказателями, отсечным клапаном и датчиками температуры при отсоединённых разъёмах манометрических термометров, цепи которых испытываются отдельно.

Значение испытательного напряжения – 1кВ. продолжительность испытания – 1 минута.

Значение испытательного напряжения при испытаниях манометрических термометров – 750В. Продолжительность испытания – 1 минута.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току производится на всех ответвлениях, если в паспорте трансформатора нет других указаний.

Сопротивление обмоток трёхфазных трансформаторов, измеренные на одинаковых ответвлениях разных фаз при одинаковой температуре, не должно отличаться более чем на 2%. Если из-за конструктивных особенностей трансформатора это расхождение может быть большим и об этом указано в заводском паспорте, следует руководствоваться нормой на допустимое расхождение, приведённой в паспорте трансформатора.

Значение сопротивления обмоток однофазных трансформаторов после температурного пересчёта не должны отличаться более чем на 5% от исходных значений.

Измерения в процессе эксплуатации производятся при комплексных испытаниях трансформатора.

Перед измерением сопротивления обмоток трансформатора, снабжённых устройствами регулирования напряжения, следует произвести не менее трёх полных циклов переключения.

Проверка коэффициента трансформации.

Проверка производится при всех положениях переключателя ответвлений. Коэффициент трансформации, измеренный при вводе трансформатора в эксплуатацию, не должен отличаться более чем на 2% от значений, измеренных на соответствующих ответвлениях других фаз, и от исходных значений, а измеренный при капитальном ремонте не должен отличаться более чем на 2% от коэффициента трансформации, рассчитанного по напряжениям ответвлений.

Проверка группы соединения обмоток трёхфазных трансформаторов и полярности выводов однофазных трансформаторов.

Группа соединений должна соответствовать указанной в паспорте трансформатора, а полярность выводов – обозначениям на крышке трансформатора.

Измерение потерь холостого хода.

Измерение производится у трансформаторов мощностью 1000кВА и более при напряжении, подводимом к обмотке низшего напряжения, равном указанному в протоколе заводских испытаний (паспорте). Измерения потерь холостого хода трансформаторов мощностью до 1000кВА производятся после капитального ремонта с полной или частичной расшивкой магнитопровода. У трёхфазных трансформаторов потери холостого хода измеряются при однофазном возбуждении по схемам, применяемым на заводе – изготовителе.

У трёхфазных трансформаторов при вводе в эксплуатацию и при капитальном ремонте соотношение потерь на разных фазах не должно отличаться от соотношений, приведённых в протоколе заводских испытаний (паспорте), более чем на 5%.

У однофазных трансформаторов при вводе в эксплуатацию отличие измеренных значений потерь от исходных не должно превышать 10%.

Измерения в процессе эксплуатации производятся по решению технического руководителя предприятия исходя из результатов хроматографического анализа растворённых в масле газов. Отличие измеренных значений от исходных данных не должно превышать 30%.

Измерение сопротивления короткого замыкания трансформатора.

Измерение производится у трансформаторов 125 МВА и более.

Для трансформаторов с устройством регулирования напряжения под нагрузкой Z_k измеряется на основном и обоих крайних ответвлениях.

Значения Z_k при вводе трансформатора в эксплуатацию не должно превышать значения, определённого по значению КЗ (U_k) трансформатора, на основном ответвлении более чем на 5%.

Значения Z_k при измерениях в процессе эксплуатации и при капитальном ремонте не должны превышать исходные более чем на 3%. У трёхфазных трансформаторов дополнительно нормируется различие значений Z_k по фазам на основном и крайних ответвлениях. Оно не должно превышать 3%.

В процессе эксплуатации измерения Z_k производятся после возведения на трансформатор тока КЗ, превышающего 70% расчётного значения, а также в объёме комплексных испытаний.

Оценка состояния переключающих устройств.

Переключающие устройства с ПБВ (переключение без возбуждения).

Оценка состояния переключающих устройств производится в соответствии с требованиями документа, указанного в соответствии с требованиями РДИ 34-38-058-91 «Типовая технологическая инструкция. Трансформаторы напряжением 110-1150 кВ мощностью 80 МВА и более. Капитальный ремонт».

Испытание бака на плотность.

Испытаниям подвергаются все трансформаторы, кроме герметизированных и не имеющих расширителя.

Испытание производится:

- ✚ У трансформаторов напряжением до 35кВ включительно – гидравлическим давлением столба масла, высота которого над уровнем заполненного расширителя составляет 0,6 метра, за исключением трансформаторов с волнистыми баками и пластинчатыми радиаторами, для которых высота столба масла принимается равной 0,3 метра;
- ✚ У трансформаторов с плёночной защитой масла – созданием внутри гибкой оболочки избыточного давления воздуха 10кПа;
- ✚ У остальных трансформаторов – созданием избыточного давления азота или сухого воздуха 10кПа в надмасляном пространстве расширителя.

Продолжительность испытания во всех случаях – не менее 3 часов.

Температура масла в баке при испытаниях трансформаторов напряжением до 150кВ включительно – не ниже 10°C, остальных – не ниже 20°C.

Трансформатор считается маслоплотным, если осмотром после испытания течь масла не обнаружена.

Проверка устройств охлаждения.

Проверка устройств охлаждения при вводе в эксплуатацию и текущем ремонте трансформаторов производится в соответствии с инструкцией по эксплуатации системы охлаждения, входящей в комплект заводской технической документации на данный трансформатор, а при капитальном ремонте – в соответствии с требованиями документа, указанного выше (РДИ 34-38-058-91).

Проверка предохранительных устройств.

Проверка и испытания производятся в соответствии с инструкциями по эксплуатации соответствующего типа реле.

Проверка средств защиты масла от воздействия окружающего воздуха.

Проверка воздухоосушителя, установок азотной и плёночной защиты масла, термосифонного или адсорбирующего фильтра при вводе трансформатора в эксплуатацию и капитальном ремонте производится в соответствии с требованиями документов по эксплуатации трансформатора.

Тепловизионный контроль состояния трансформаторов.

Тепловизионный контроль производится у трансформаторов напряжением 110кВ и выше в соответствии с указаниями приложения 1.

Испытание трансформаторного масла.

Испытание остатков масла в баке трансформаторов, поставляемых без масла.

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanvictor.narod.ru

При испытаниях проверяется пробивное напряжение и влагосодержание остатков масла. пробивное напряжение должно быть не ниже 50кВ, а влагосодержание не выше:

- ✚ У трансформаторов напряжением 110-330кВ – 0,0025%
- ✚ У трансформаторов напряжением 500-750кВ – 0,002%

Результаты испытаний учитываются при комплексной оценке состояния трансформатора после транспортировки.

Испытание масла в процессе хранения трансформатора.

У трансформаторов напряжением до 35кВ включительно проба масла испытывается в соответствии с требованиями методики по испытанию трансформаторного масла не реже 1 раза в год.

У трансформаторов напряжением 110кВ и выше масло испытывается в соответствии с требованиями вышеозначенной методики (далее «Методика на масло») не реже 1 раза в 2 месяца.

Испытание масла перед вводом трансформатора в эксплуатацию.

У трансформаторов напряжением до 35кВ включительно масло испытывается согласно требованиям «Методики на масло». По решению технического руководителя предприятия испытания масла могут не производиться.

У трансформаторов напряжением 110кВ и выше масло испытывается согласно требованиям «Методики на масло», а у трансформаторов с плёночной защитой масла – дополнительно – по пункту 10 таблицы данной методики.

У трансформаторов всех напряжений масло из бака контактора устройства регулирования напряжения под нагрузкой испытывается в соответствии с инструкцией завода – изготовителя.

Испытание масла в процессе эксплуатации трансформаторов.

У трансформаторов напряжением до 35кВ включительно масло испытывается по требованиям «Методики на масло» в течение первого месяца эксплуатации – 3 раза в первой половине и 2 раза во второй половине месяца. В дальнейшем масло испытывается по требованиям «Методики на масло» не реже 1 раза в 4 года с учётом требований.

У трансформаторов напряжением 110кВ и выше масло испытывается по требованиям «Методики на масло», а у трансформаторов с плёночной защитой масла – дополнительно, в следующие сроки: трансформаторы 110 – 220кВ – через 10 дней и 1 месяц, трансформаторы 330-750кВ – через 10 дней, 1 и 3 месяца.

В дальнейшем масло из трансформаторов напряжением 110кВ и выше испытывается не реже 1 раза в 2 года согласно требованиям «Методики на масло» и не реже 1 раза в 4 года по требованиям п.

Испытание трансформаторов включением на номинальное напряжение.

Включение трансформаторов производится на время не менее 30 минут. В течение этого времени осуществляется прослушивание и наблюдение за состоянием трансформатора. В процессе испытаний не должно иметь место явления, указывающие на неудовлетворительное состояние трансформатора.

Испытание вводов и встроенных трансформаторов тока производится в соответствии с соответствующими методиками.

Условия испытаний и измерений

Испытание силовых трансформаторов производят при температуре окружающей среды не ниже +10⁰С, с контролем температуры обмоток. При проведении испытаний следует помнить, что температура обмоток силового трансформаторов может быть выше температуры окружаю-

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

щей среды, поэтому контроль температуры обмоток осуществляют непосредственно внутри корпуса трансформатора или по температуре масла.

Влажность окружающего воздуха имеет значение при проведении высоковольтных испытаний обмоток, т.к. конденсат на изоляторах вводов может привести к пробое изоляции и, соответственно, к выходу из строя оборудования (как испытательного, так и испытуемого). Оценку увлажнения обмоток трансформатора проводят при измерении коэффициента абсорбции, при этом сам коэффициент абсорбции для занесения в протокол не фиксируется, или может быть внесён в протокол в качестве оценочного показателя.

Перед проведением высоковольтных испытаний изоляторы вводов следует протереть от пыли, грязи и влаги.

Атмосферное давление особого влияние на качество проводимых испытаний не оказывает, но фиксируется для занесения данных в протокол.

Средства измерений.

Трансформаторы подвергаются испытаниям в собранном виде, с установленными на них всеми деталями и узлами, которые могут повлиять на результат испытаний. Особое внимание следует обращать на переключатель ответвлений силового трансформатора – если испытание проводится до полной сборки, то после проведения испытаний и полной сборки контакты переключателя могут ухудшиться.

Перед испытанием производится внешний осмотр, проверка целостности изоляторов, отсутствие течи масла.

Измерение сопротивления изоляции производят мегаомметрами на соответствующее напряжение: для обмотки НН (напряжением ниже 1000В) используют мегаомметры на 500В при номинальном напряжении трансформатора до 0,5кВ включительно, мегаомметры с рабочим напряжением 1000В используют для трансформаторов с рабочим напряжением свыше 0,5 до 1кВ включительно, а мегаомметры на напряжение 2500В – для обмоток ВН и НН напряжением выше 1кВ.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току производится мостами постоянного тока (например Р 333, Р4833), которые позволяют произвести замеры с точностью до 0,001 Ом. При отсутствии данных приборов возможно использовать метод амперметра – вольтметра с источником постоянного тока, который может обеспечить достаточный ток для проведения данных испытаний.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты производят с помощью различных установок, которые состоят из следующих элементов: испытательного трансформатора, регулирующего устройства, контрольно-измерительной и защитной аппаратуры. К таким аппаратам можно отнести установку АИИ – 70, АИД – 70, а также различные высоковольтные испытательные трансформаторы, которые обладают достаточным уровнем защиты и надлежащим уровнем подготовлены для проведения испытаний.

Перед проведением испытаний силовых трансформаторов необходимо, чтобы обмотки трансформатора были заземлены в течение 1 часа.

При проведении испытаний трансформаторов на потери холостого хода и потери короткого замыкания применяют измерительные мосты и комплекты (типа К-50) при измерениях на напряжениях 0,4кВ или трансформаторы тока и напряжения при измерениях на напряжениях выше 1000В.

Для измерения тангенса диэлектрических потерь применяются мосты переменного тока Р5026 и новые приборы «Вектор».

Все приборы должны быть поверены, а испытательные установки аттестованы в соответствующих государственных органах (ЦСМ).

Порядок проведения испытаний и измерений.

Измерение сопротивления изоляции.

Схема измерения сопротивления изоляции силовых трансформаторов представлена на рисунке 3.

Перед проведением измерения необходимо протереть от пыли и грязи ввода трансформатора, отсоединить (при необходимости) провода и шинные мосты от трансформатора (оставить трансформатор без дополнительных устройств) и провести заземление обмоток на оговоренное выше время.

При измерении сопротивления изоляции отсчёт показаний мегаомметра производят каждые 15 секунд и результатом считается сопротивление, отсчитанное через 60 секунд после начала измерения, а отношение показаний R_{60}/R_{15} считается коэффициентом абсорбции.

Испытуемую обмотку трансформатора закорачивают, а свободную обмотку закорачивают и дополнительно подключают к заземлению для избежания обратной трансформации испытательного напряжения от мегаомметра.

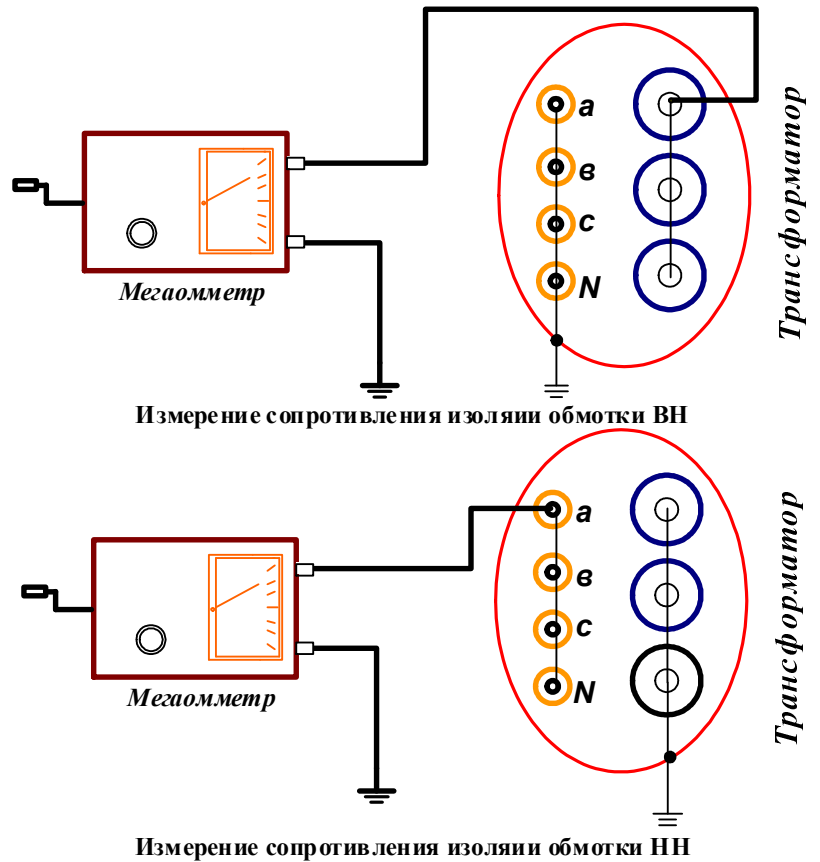


Рис.3 Измерение сопротивления изоляции обмоток.

Измерение сопротивления изоляции доступных стяжных шпилек, бандажей, полубандажей ярем и прессующих колец относительно активной стали и ярмовых балок, а также ярмовых балок относительно активной стали и электрических экранов относительно обмоток и магнитопровода.

Схема для проведения измерений данного вида в данной методике не приводится, на рисунке 4 представлена активная часть магнитопровода и стрелочками показаны предполагаемые участки измерений. Измерения проводят по принципу измерения сопротивления изоляции обмоток силовых трансформаторов, при этом показания мегаомметра снимают после установившихся значений, когда стрелка не производит колебаний, а установится у какого – либо значения. Мегаомметр, при этом, подключают линейным зажимом к объекту испыта-

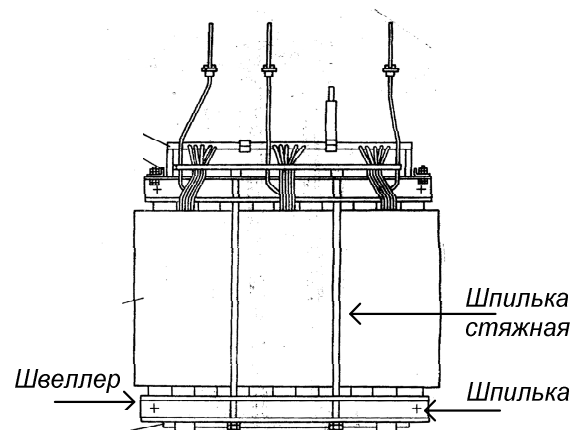


Рисунок 4. Активная часть трансформатора с указанием стяжных шпилек и балок

Хроматографический анализ газов, растворённых в масле.

1. Технология отбора проб масла на ХАРГ.

1.1. Отбор проб осуществляется в стеклянные медицинские шприцы (рисунок 5) ёмкостью 10-20 мл с заглушкой, изготовленной из наконечника медицинской иглы с запаянным отверстием.

Заглушка используется для герметизации шприца после отбора пробы. Для отбора проб могут применяться также специальные пробоотборники «ЭЛХРОМ» ёмкостью 20 мл. Пробоотборник представляет собой комбинацию специального цельностеклянного шприца и прецизионного трехходового крана. Конструкция пробоотборника позволяет производить отбор проб из всех видов электрооборудования без использования дополнительных приспособлений. При этом сводятся до минимума потери масла из электрооборудования, что особенно важно для маломасляных аппаратов (высоковольтных вводов). Газоуплотность пробоотборника позволяет обеспечить минимальные потери газов при хранении и транспортировке.

Каждый шприц (пробоотборник) должен иметь индивидуальный номер!

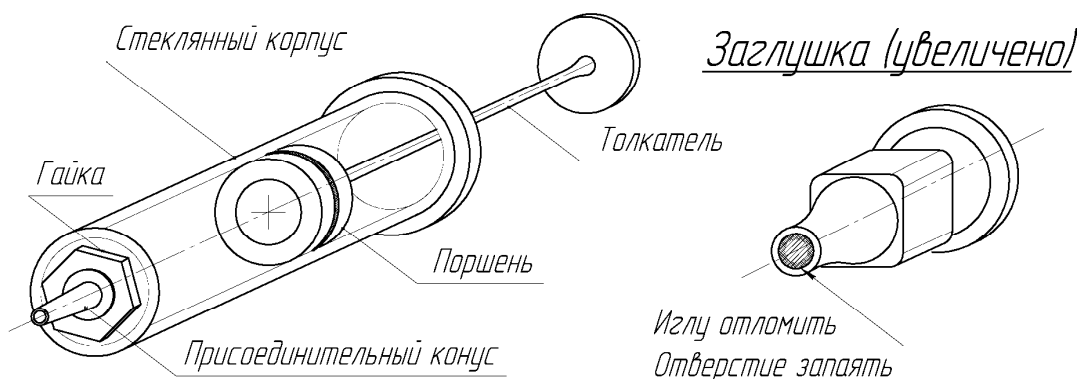


Рисунок 5. Шприц для отбора проб масла на ХАРГ

1.2. При отборе проб трансформаторного масла необходимо следить, чтобы в шприц с маслом не попали механические примеси и пузырьки воздуха.

Недопустим отбор проб масла в одноразовые пластмассовые шприцы!

Недопустим отбор проб масла из открытой струи!

Недопустим контакт масла с атмосферным воздухом при отборе!

1.3. При отборе пробы масла из бака трансформатора (рисунок 6) маслоотборное устройство очистить от загрязнений, проверить маркировку шприцев. К маслоотборному штуцеру подсоединить шланг с внутренним диаметром 6-8 мм из маслостойкой резины. Приоткрыть вентиль маслоотборного устройства и слить 1-2 литра масла для промывки штуцера и шланга. Перед окончанием слива свободный конец шланга приподнять вверх для удаления пузырьков воздуха. Плотнo ввести присоединительный конус шприца в заранее подготовленное отверстие в шланге (возможно применение медицинской иглы или специально изготовленных переходников), перекрыть конец шланга для создания в нём избыточного давления.

Перед заполнением шприц промыть отбираемым маслом! Для этого шприц полностью заполнить отбираемым маслом, после чего, плавным нажатием на поршень, вытеснить всё масло из шприца. Процедуру промывки повторить не менее трёх раз.

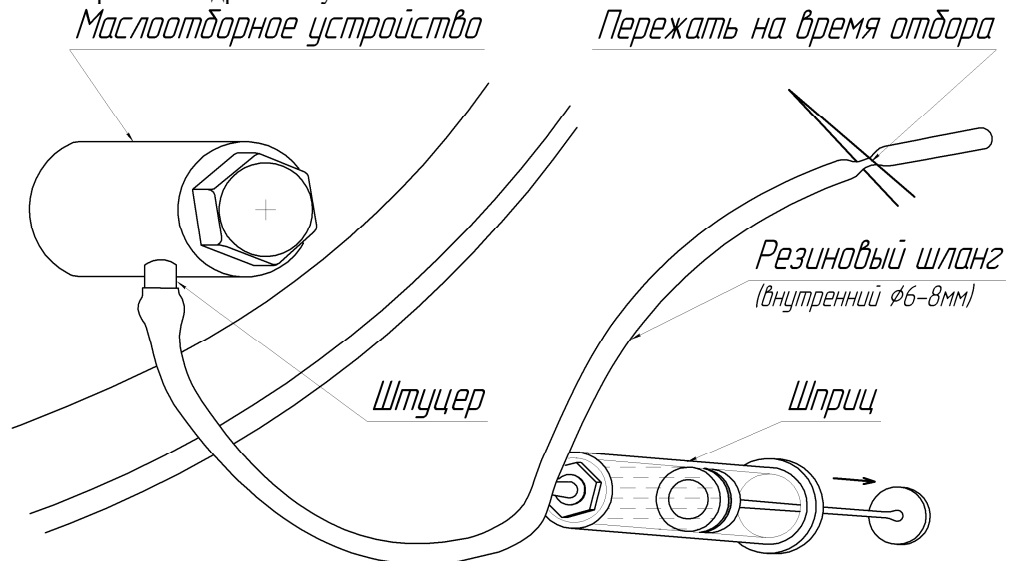


Рисунок 6. Отбора пробы масла из бака силового трансформатора

После промывки заполнить шприц маслом и расположив шприц иглой вверх, вытеснить 1-2 мл масла для удаления пузырьков воздуха. Закрыть шприц наконечником-заглушкой (установку заглушки проводят одновременно с надавливанием на поршень шприца). Заполнить сопроводительные листы, шприцы с пробами масла поместить в специальную тару.

1.4. Отбор проб масла из герметичных вводов должен производиться по технологической карте. Для вводов со встроенным компенсатором давления пробы отбираются непосредственно из ввода. Для вводов с выносным компенсатором давления пробы отбираются из бака давления (для уточнения вида предполагаемого дефекта, по согласованию с СИИЗ, допускается отбор пробы масла непосредственно из вводов).

При отборе пробы из ввода с выносным баком давления закрывать вентиль на время не более 5-10 минут!

Для отбора пробы масла из герметичного ввода: закрыть вентиль на вводе, снять заглушку с перекрываемого хода вентиля, прижать конус шприца через мягкую резиновую прокладку толщиной 8-10мм к отверстию вентиля (предварительно в прокладке необходимо проколоть отверстие для конуса шприца). Приоткрыть вентиль до заполнения шприца маслом. **Перед заполнением маслом шприц промыть отбираемым маслом!** Для этого шприц полностью заполнить отбираемым маслом, после чего, плавным нажатием на поршень, вытеснить всё масло из шприца.

После промывки заполнить шприц маслом. Закрыть вентиль, поставить заглушку на место, открыть вентиль до конца. Расположив шприц иглой вверх, вытеснить 1-2 мл масла для удаления пузырьков воздуха. Плотнo закрыть шприц наконечником-заглушкой, (установку заглушки проводят одновременно с надавливанием на поршень шприца). Заполнить сопроводительные листы, шприцы с пробами масла опустить в специальную тару.

2. Герметично закрытые шприцы с пробами масла хранят в защищённом от солнечного света месте в емкостях, заполненных трансформаторным маслом (шприцы должны быть полностью погружены в масло). На контейнерах должно быть указано наименование подстанции.

3. Доставка проб масла на ХАРГ осуществляется транспортом ПС, либо другим способом (по согласованию с начальниками районов), не позже 3-4 суток с момента отбора. Пробы отправляются в химлабораторию с заполненными сопроводительными листами. Шприцы транспортируются в емкостях, заполненных трансформаторным маслом (шприцы должны быть полностью погружены в масло) в вертикальном положении, заглушками вниз.

При транспортировании необходимо избегать сильной вибрации, тряски, резких перепадов температур и попадания прямого солнечного света на пробы масла.

4. Хроматографический анализ газов, растворённых в трансформаторном масле, проводит персонал химической лаборатории службы испытаний и измерений. Результаты анализа заносятся в сопроводительный протокол, который после аналитической обработки в службе СИИЗ возвращается на подстанцию с заключением специалистов.

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь изоляции обмоток.

Схема для измерения тангенса с применением моста P5026 представлена на рисунке 6.

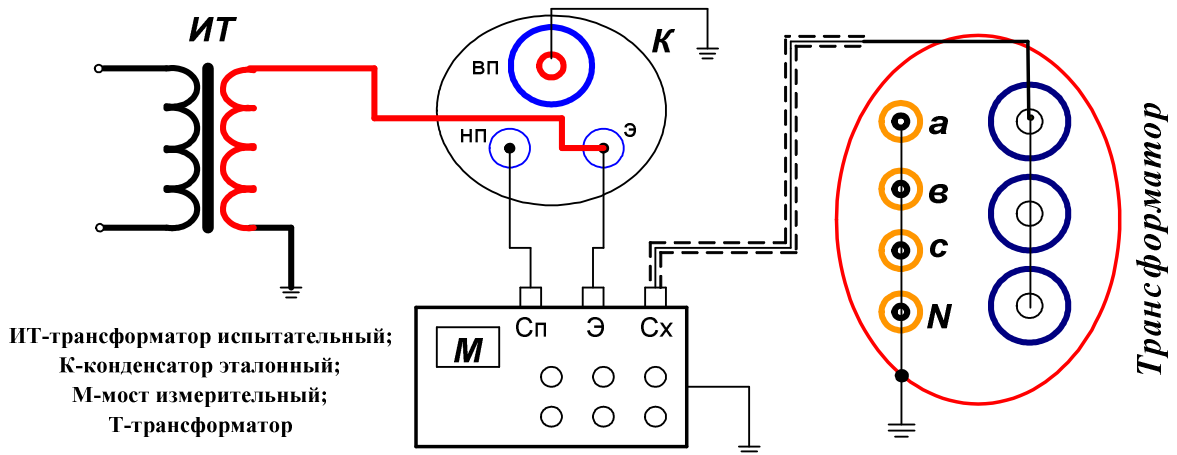


Рисунок 7 Схема измерения tg угла диэлектрических потерь трансформатора по "перевернутой схеме".

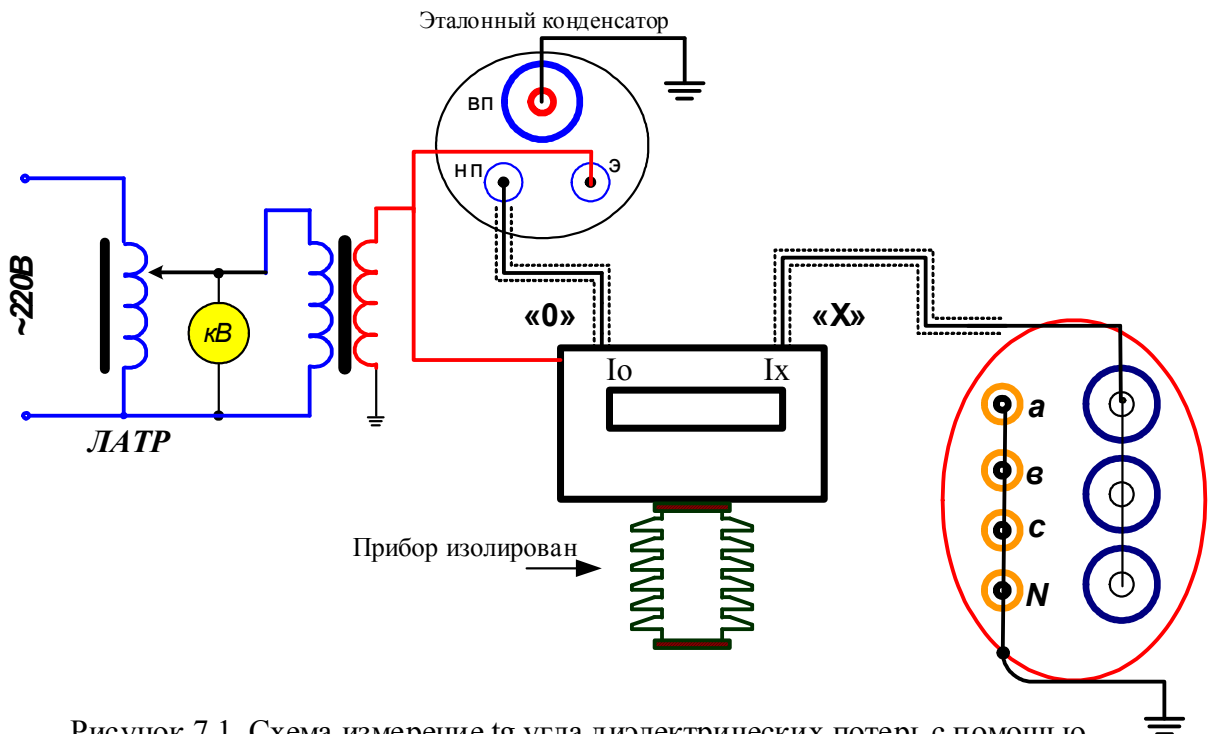


Рисунок 7.1. Схема измерения tg угла диэлектрических потерь с помощью «ВЕКТОРА» по обатной (инверсная) схеме.

При измерении тангенса может иметь сильное влияние подключение приборов к питающей сети. При невозможности произвести измерение можно попробовать переключить вилку на ЛАТРе – поменять фазу.

Эти помехи не отражаются при измерении прибором «ВЕКТОР».

Испытание изоляции повышенным напряжением.

Испытание изоляции трансформатора повышенным напряжением проводится по схеме, представленной на рисунке 3, только вместо мегаомметра подключается испытательная установка. Обязательно закорачивание и заземление свободных обмоток трансформатора, которая в данное время не подвергается испытанию.

Испытательное напряжение поднимается постепенно. После установки испытательного напряжения начинается отсчёт времени испытания. После испытания напряжение снимается, и испытываемые обмотки заземляются.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты стяжных шпилек, бандажей, полубандажей ярем и прессирующих колец производится при ремонте активной части трансформатора, когда есть доступ к испытываемым частям.

Испытание цепей защитной и контрольно – измерительной аппаратуры, установленной на трансформаторе производится с подключением вывода испытательного аппарата к зажимам испытываемых цепей с заземлением второго вывода аппарата. При испытании все цепи, которые не связаны с землёй могут быть объединены для проведения одного общего испытания.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току.

Измерение проводится либо с помощью моста постоянного тока, либо с помощью амперметра и вольтметра, ориентируясь в дальнейшем на падение напряжения на обмотке.

Величина тока, при измерении методом падения напряжения, не должна превышать 1/5 номинального тока обмотки трансформатора. При измерениях этим методом выбирают схему в соответствии с величиной измеряемого сопротивления (рисунок 8).

При измерении сопротивления мостом постоянного тока (например Р333) зажимы моста подключают к зажимам силового трансформатора и в дальнейшем производят измерения в соответствии с инструкцией на мост.

Измерение следует производить на всех положениях переключателя регулирования напряжения трансформатора. При этом для удобства и скорости измерения производят следующим образом: прибор подключают например к фазам А и В, производят измерение, не отключая прибор переключают положение трансформатора и производят измерение на этом положении и так далее до последнего положения. Затем переключают прибор на другие фазы и аналогичным образом переключают переключатель, производя замеры.

Таким образом, можно быстро произвести замеры избежав долгого насыщения трансформатора.

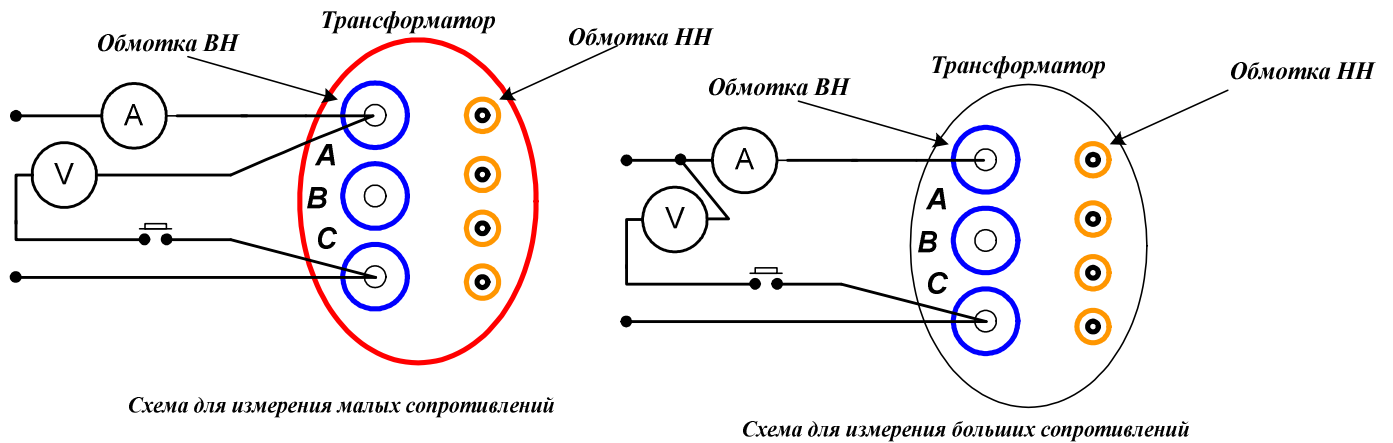


Рис. 8 Схема измерений сопротивления обмоток постоянному току.

Проверка коэффициента трансформации.

Коэффициентом трансформации трансформаторов называется отношение напряжения обмотки ВН к напряжению обмотки НН при холостом ходе, т.е.

$$K_L = U_{ВН}/U_{НН}.$$

Проверка коэффициента трансформации производится по схеме представленной на рисунке 9.

Проверка производится на всех ответвлениях трансформатора:

$$K_L = K_1 = K_2 = K_3,$$

где $K_1 = U_1/U_4$; $K_2 = U_2/U_5$; $K_3 = U_3/U_6$.

Коэффициент трансформации не должен отличаться более чем на 2% от значений, полученных на соответствующих ответвлениях других фаз, или от заводских значений. Кроме того, для трансформаторов с РПН разница коэффициентов трансформации не должна превышать значения ступени регулирования.

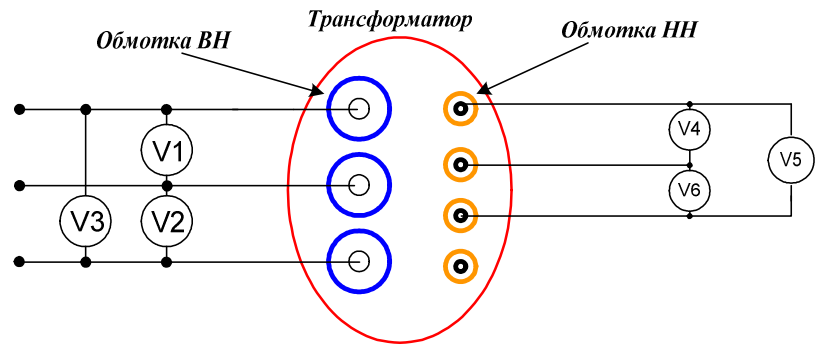


Рис. 9 Схема измерения Коэффициента трансформации.

Определение группы соединения обмоток трёхфазных трансформаторов и полярности выводов однофазных трансформаторов.

Проверку группы соединения обмоток трансформатора проверяют методом двух вольтметров. Для проверки группы соединяют зажимы фаз А и а испытуемого трансформатора. К обмотке ВН подводят напряжение и измеряют последовательно напряжения между зажимами фаз в – В, в – С, с – В (рисунок 10). Измеренные напряжения $U_{в – В}$, $U_{в – С}$, $U_{с – В}$ сравнивают с соответствующими расчётными напряжениями, вычисленными по формулам таблицы 2 (где К – линейный коэффициент трансформации трансформатора).

Группа соединения	Угловое смещение ЭДС	Возможное соединение обмоток	$U_{В-В}$	$U_{В-С}$	$U_{С-В}$
0	0	Y/Y, Д/Д	$U_{л}(K_{л} - 1)$	$U_{л} \sqrt{1 - K_{л} + K_{л}^2}$	
6	180	Y/Y, Д/Д	$U_{л}(K_{л} + 1)$	$U_{л} \sqrt{1 + K_{л} + K_{л}^2}$	
11	330	Y/Д, Д/Y	$U_{л} \sqrt{1 - \sqrt{3}K_{л} + K_{л}^2}$	$U_{л} \sqrt{1 + K_{л}^2}$	$U_{л} \sqrt{1 - \sqrt{3}K_{л} + K_{л}^2}$

Если измеренные и расчётные значения указанных напряжений соответственно равны в пределах допуска на коэффициент трансформации и точности измерений, то группу соединений считают правильной. Для исключения ошибок при испытании трёхфазных трансформаторов необходимо обращать внимание на симметрию трёхфазного напряжения питания.

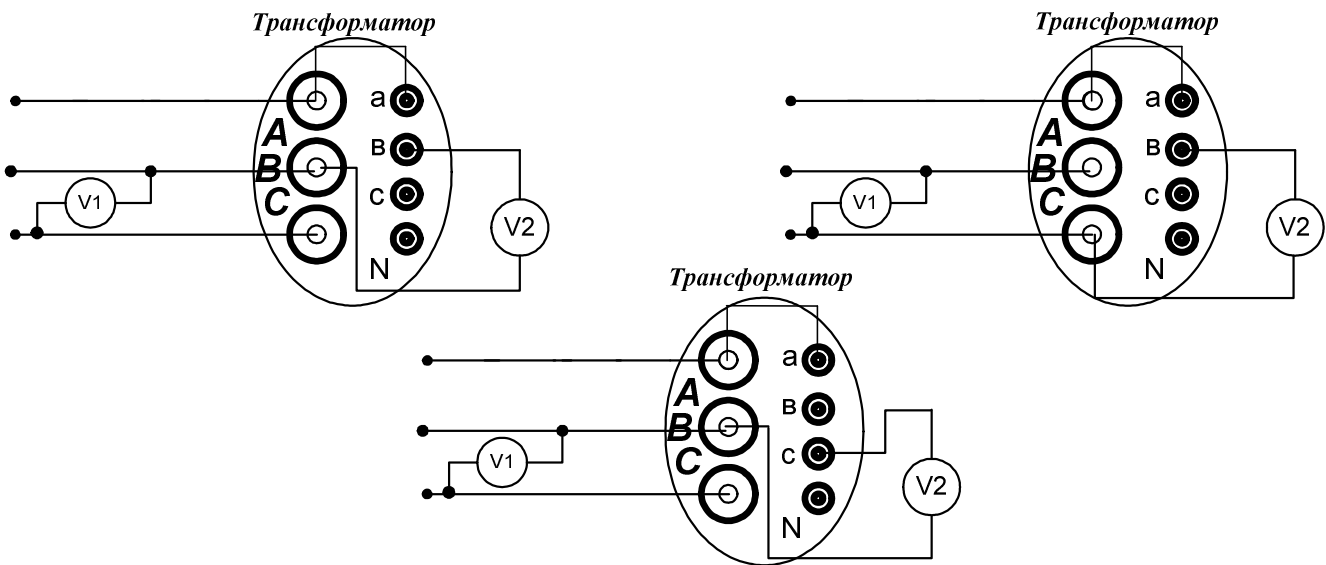


Рис. 10 Схема проверки группы соединения обмоток.

Измерение потерь холостого хода трансформаторов.

Потери и ток холостого хода измеряют при номинальном напряжении, кроме того, если это указано в соответствующих стандартах или технических условиях на трансформатор, дополнительно измеряют потери холостого хода при пониженном напряжении.

Потери холостого хода при номинальном напряжении для трансформаторов с напряжением вторичной обмотки 0,4кВ, измеряются по схеме на рисунке 11.

Напряжение подаётся на обмотку НН, обмотка ВН остаётся разомкнутой.

За подводимое напряжение допускается принимать линейное напряжение на зажимах а – с. При этом измеряется величина тока холостого хода $I_{хх}$ и мощность $P_{хх}$.

Для определения тока холостого хода и потерь необходимо произвести расчет по формулам:

$$I_{хх} = (I_a + I_b + I_c)/3; \quad P_{хх} = P_{ав} + P_{вс}.$$

Полученные при измерениях данные сравнивают с данными заводских испытаний. Они не должны отличаться более чем на 10%. В противном случае необходимо выяснить и устранить причину отклонения потерь и вновь произвести измерения.

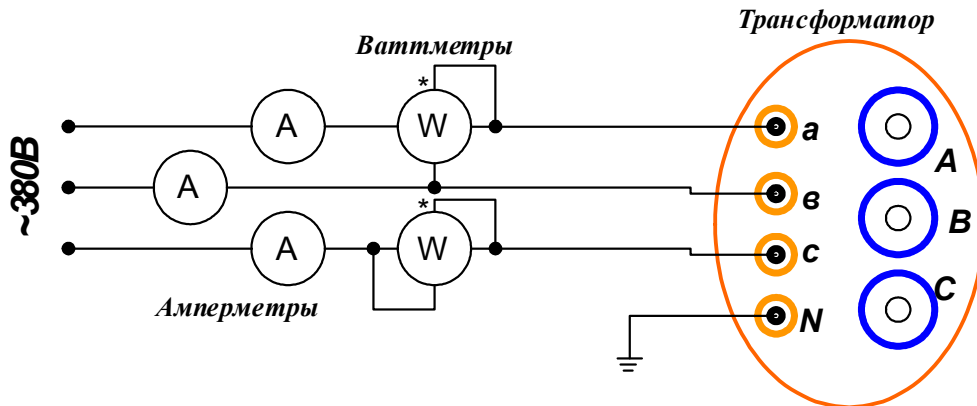


Рис. 11 Схема измерения потерь и тока холостого хода тарнсформатора при номинальном напряжении.

Для проведения данных измерений удобно использовать измерительный комплект К – 50, при этом соединения необходимо производить в соответствии с инструкцией прибора.

Потери холостого хода при пониженном напряжении для трансформаторов с вторичным напряжением 6 – 10кВ измеряются по схеме приведённой на рисунке 2. На обмотке ВН высокое напряжение!

Обработка данных, полученных при испытаниях.

Первичные записи рабочей тетради должны содержать следующие данные:

- ✚ дату измерений.
- ✚ температуру, влажность и давление
- ✚ температуру изоляции электродвигателя
- ✚ наименование, тип, заводской номер электродвигателя
- ✚ номинальные данные объекта испытаний
- ✚ результаты испытаний
- ✚ результаты внешнего осмотра
- ✚ используемую схему

Данные полученные при измерении сопротивления изоляции обмоток и сопротивлении обмоток постоянному току следует сравнивать с заводскими данными на данный трансформатор, с учётом температуры. Кроме того данные по сопротивлению фаз не должны отличаться друг от друга не более чем на 2%.

Для перерасчёта полученных данных и приведение их к данным, полученным при другой температуре испытаний, используют формулы приведённые ниже. Такой перерасчёт необходим для результатов измерения тангенса угла диэлектрических потерь, так как нормирование величины тангенса в НТД ведётся при температуре 20 °С. Поэтому полученные при испытаниях величины необходимо привести к температуре 20 °С для проведения сравнения с нормами.

Для приведения используют следующую формулу:

$$X = X_1(t_2+235)/(t_1+235)$$

- где: X - значение параметра (тангенса);
X₁ – значение измеренного параметра (тангенса) при t₂;

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

t_1 – температура в 20 °С;

t_2 – температура при испытании (°С) при которой было проведено испытание.

Кроме того, перерасчёт необходимо производить с данными измерения сопротивления обмоток постоянному току.

Все данные испытаний сравниваются с требованиями НТД и на основании сравнения выдётся заключение о пригодности электродвигателя к эксплуатации.

Меры безопасности при проведении испытаний и охрана окружающей среды.

Перед началом работ необходимо:

- Получить наряд (разрешение) на производство работ
- Подготовить рабочее место в соответствии с характером работы: убедиться в достаточности принятых мер безопасности со стороны допускающего (при работах по наряду) либо принять все меры безопасности самостоятельно (при работах по распоряжению).
- Подготовить необходимый инструмент и приборы.
- При выполнении работ действовать в соответствии с программами (методиками) по испытанию электрооборудования типовыми или на конкретное присоединение. При проведении высоковольтных испытаний на стационарной установке действовать в соответствии с инструкцией.

По окончании работ:

- При окончании работ на электрооборудовании убрать рабочее место восстановив нарушенные в процессе работы коммутационные соединения (если таковое имело место).
- Сдать наряд (сообщить об окончании работ руководителю или оперативному персоналу).
- Сделать запись в кабельный журнал о проведённых испытаниях (при испытании кабеля), либо сделать запись в черновик для последующей работы с полученными данными.
- Оформить протокол на проведённые работы

Проводить измерения с помощью мегаомметра разрешается выполнять обученным работникам из числа электротехнической лаборатории. В электроустановках напряжением выше 1000В измерения проводятся по наряду, в электроустановках напряжением до 1000В – по распоряжению.

В тех случаях, когда измерения мегаомметром входят в содержание работ, оговаривать эти измерения в наряде или распоряжении не требуется.

Измерять сопротивление изоляции мегаомметром может работник, имеющий группу III.

Измерение сопротивления изоляции мегаомметром должно осуществляться на отключенных токоведущих частях, с которых снят заряд путём предварительного их заземления. Заземление с токоведущих частей следует снимать только после подключения мегаомметра.

При измерении мегаомметром сопротивления изоляции токоведущих частей соединительные провода следует присоединять к ним с помощью изолирующих держателей (штанг). В электроустановках напряжением выше 1000В, кроме того, следует пользоваться диэлектрическими перчатками.

При работе с мегаомметром прикасаться к токоведущим частям, к которым он присоединён, не разрешается. После окончания работы следует снять с токоведущих частей остаточный заряд путём их кратковременного заземления.

Проведение работ с подачей повышенного напряжения от постороннего источника при испытании.

К проведению испытаний электрооборудования допускается персонал, прошедший специальную подготовку и проверку знаний и требований, содержащихся в разделе 5.1 Правил Безопасности, комиссией, в состав которой включаются специалисты по испытаниям электрооборудования с соответствующей группой.

Испытания электрооборудования, в том числе и вне электроустановок, проводимые с использованием передвижной испытательной установки, должны выполняться по наряду.

Проведение испытаний в процессе работ по монтажу или ремонту оборудования должно оговариваться в строке «Поручается» наряда.

Испытания электрооборудования проводит бригада, в составе которой производитель работ должен иметь группу IУ, член бригады – группу III, а член бригады, которому поручается охрана, - группу II.

Массовые испытания материалов и изделий (средства защиты, различные изоляционные детали, масло и т.п.) с использованием стационарных испытательных установок, у которых токоведущие части закрыты сплошным или сетчатым ограждениями, а двери снабжены блокировкой, допускается выполнять работнику, имеющему группу III, единолично в порядке текущей эксплуатации с использованием типовых методик испытаний.

Рабочее место оператора испытательной установки должно быть отделено от той части установки, которая имеет напряжение выше 1000В. Дверь, ведущая в часть установки, имеющую напряжение выше 1000В, должна быть снабжена блокировкой, обеспечивающей снятие напряжения с испытательной схемы в случае открытия двери и невозможность подачи напряжения при открытых дверях. На рабочем месте оператора должна быть предусмотрена отдельная световая, извещающая о включении напряжения до и выше 1000В, и звуковая сигнализация, извещающая о подаче испытательного напряжения. При подаче испытательного напряжения оператор должен стоять на изолирующем ковре.

Передвижные испытательные установки должны быть оснащены наружной световой и звуковой сигнализацией, автоматически включающейся при наличии напряжения на выводе испытательной установки.

Допуск по нарядам, выданным на проведение испытаний и подготовительных работ к ним, должен быть выполнен только после удаления с рабочих мест других бригад, работающих на подлежащем испытанию оборудовании, и сдачи ими нарядов допускающему. В электроустановках, не имеющих местного дежурного персонала, производителю работ разрешается после удаления бригады оставить наряд у себя, оформив перерыв в работе.

При необходимости следует выставлять охрану, состоящую из членов бригады, имеющих группу III, для предотвращения приближения посторонних людей к испытательной установке, соединительным проводам и испытательному оборудованию. Члены бригады, несущие охрану, должны находиться вне ограждения и считать испытываемое оборудование находящимся под напряжением. Покинуть пост эти работники могут только с разрешения производителя работ.

При размещении испытательной установки и испытываемого оборудования в различных помещениях или на разных участках РУ разрешается нахождение членов бригады, имеющих группу III, ведущих наблюдение за состоянием изоляции, отдельно от производителя работ. Эти члены бригады должны находиться вне ограждений и получить перед началом испытаний необходимый инструктаж от производителя работ.

Снимать заземление, установленное при подготовке рабочего места и препятствующие проведению испытаний, а затем устанавливать их вновь разрешается только по указанию производителя работ, руководящего испытаниями, после заземления вывода высокого напряжения испытательной установки.

Разрешение на временное снятие заземлений должно быть указано в строке «Отдельные указания» наряда.

При сборке испытательной схемы прежде всего должно быть выполнено защитное и рабочее заземление испытательной установки. Корпус передвижной испытательной установки должен быть заземлён отдельным заземляющим проводником из гибкого медного провода сечением не менее 10 мм^2 . Перед испытанием следует проверить надёжность заземления корпуса.

Перед присоединением испытательной установки к сети напряжением 380/220В вывод высокого напряжения её должен быть заземлён.

Сечение медного провода, применяемого в испытательных схемах заземления, должно быть не менее 4 мм^2 .

Присоединение испытательной установки к сети напряжением 380/220В должно выполняться через коммутационный аппарат с видимым разрывом или через штепсельную вилку, расположенную на месте управления установкой.

Коммутационный аппарат должен быть оборудован устройством, препятствующим самопроизвольному включению, или между подвижным и неподвижным контактами аппарата должна быть установлена изолирующая накладка.

Провод или кабель, используемый для питания испытательной установки от сети напряжением 380/220В, должен быть защищён установленными в этой сети предохранителями или автоматическими выключателями. Подключать к сети передвижную испытательную установку должны представители организации, эксплуатирующие эти сети.

Соединительный провод между испытательной установкой и испытуемым оборудованием сначала должен быть присоединён к её заземлённому выводу высокого напряжения.

Этот провод следует закреплять так, чтобы избежать приближения (подхлестывания) к находящимся под напряжением токоведущим частям на расстояние менее указанного в таблице 1.

Присоединять соединительный провод к фазе, полюсу испытуемого оборудования или к жиле кабеля и отсоединять его разрешается по указанию руководителя испытаний и только после их заземления, которое должно быть выполнено включением заземляющих ножей или установкой переносных заземлений.

Перед каждой подачей испытательного напряжения производитель работ должен:

- Проверить правильность сборки схемы и надёжность рабочих и защитных заземлений;
- Проверить, все ли члены бригады и работники, назначенные для охраны, находятся на указанных им местах, удалены ли посторонние люди и можно ли подавать испытательное напряжение на оборудование;
- Предупредить бригаду о подаче напряжения словами «Подаю напряжение» и, убедившись, что предупреждение услышано всеми членами бригады, снять заземление с вывода испытательной установки и подать на нее напряжение 380/220В.

С момента снятия заземления с вывода установки вся испытательная установка, включая испытываемое оборудование и соединительные провода, должна считаться находящейся под напряжением и проводить какие – либо пересоединения в испытательной схеме и на испытываемом оборудовании не допускается.

Не допускается с момента подачи напряжения на вывод установки находиться на испытываемом оборудовании, а также прикасаться к корпусу испытательной установки, стоя на земле, входить и выходить из передвижной лаборатории, прикасаться к кузову передвижной лаборатории.

После окончания испытаний производитель работ должен снизить напряжение испытательной установки до нуля, отключить её от сети напряжением 380/220В, заземлить вывод установки и сообщить об этом бригаде словами «Напряжение снято». Только после этого допускается пересоединять провода или в случае полного окончания испытания отсоединять их от испытательной установки и снимать ограждения.