

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра электроснабжения горных и промышленных предприятий

Составитель  
**В. В. Шурупов**

**ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕМА И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ  
ИСПЫТАНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОСЛЕ МОНТАЖА**

**Методические указания к практическому занятию**

Рекомендованы учебно-методической комиссией направления  
13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника»  
в качестве электронного издания  
для использования в учебном процессе

Кемерово 2015

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**А. А. Шевченко** – ст. преподаватель кафедры электроснабжения горных и промышленных предприятий

**И. Ю. Семькина** – председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника»

**Шурупов Виктор Владимирович. Изучение объема и последовательности испытаний трансформаторов после монтажа:** методические указания к практическому занятию по дисциплине «Монтаж и наладка электрооборудования» [Электронный ресурс] для студентов направления подготовки 13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника», образовательная программа «Электроснабжение» для всех форм обучения / сост.: В. В. Шурупов. – Кемерово: КузГТУ, 2015. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 8 Мб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Составлено в соответствии с программой дисциплины «Монтаж и наладка электрооборудования» и предназначено для проведения практических занятий.

Приведены сведения об объеме и последовательности испытаний трансформаторов после монтажа.

© КузГТУ, 2015  
© Шурупов В. В.,  
составление, 2015

**Цель работы:** изучить объем и последовательность испытаний силовых трансформаторов. Научиться измерять сопротивление изоляции обмоток силовых трансформаторов.

Силовые трансформаторы, вводимые в эксплуатацию, должны подвергаться приемосдаточным испытаниям в соответствии с требованиями ПУЭ.

В объем испытаний входят:

1. Измерение характеристик изоляции:  $R_{60''}$ ;  $R_{60''}/R_{15''}$ ;  $\text{tg}\delta$ ;  $C_2/C_{50}$ ;  $\Delta C_2/C$ .
2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты:
  - а) изоляции обмоток вместе с вводами;
  - б) изоляции доступных стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок.
3. Измерение сопротивления обмоток постоянному току.
4. Проверка коэффициента трансформации.
5. Проверка группы соединения трехфазных трансформаторов и полярности выводов однофазных трансформаторов.
6. Измерение тока и потерь холостого хода.
7. Проверка работы переключающего устройства и снятие круговой диаграммы.
8. Испытание бака с радиаторами гидравлическим давлением.
9. Проверка системы охлаждения.
10. Проверка состояния силикагеля.
11. Фазировка трансформаторов.
12. Испытание трансформаторного масла.
13. Испытания вводов.
14. Испытания включением толчком на номинальное напряжение.

## **ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИСПЫТАНИЯМ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Испытания электрооборудования должны производиться с соблюдением требований правил техники безопасности.

1. Электрические испытания изоляции электрооборудования

и отбор пробы трансформаторного масла для испытаний необходимо проводить при температуре изоляции не ниже 5 °С, кроме оговоренных в Нормах случаев, когда измерения следует проводить при более высокой температуре. В отдельных случаях (например, при приемо-сдаточных испытаниях) по решению технического руководителя энергопредприятия измерения тангенса угла диэлектрических потерь, сопротивления изоляции и другие измерения на электрооборудовании на напряжение до 35 кВ включительно могут проводиться при более низкой температуре. Измерения электрических характеристик изоляции, произведенные при отрицательных температурах, должны быть повторены в возможно более короткие сроки при температуре изоляции не ниже 5 °С.

2. Сравнение характеристик изоляции должно производиться при одной и той же температуре изоляции или близких ее значениях (расхождение – не более 5 °С). Если это невозможно, должен применяться температурный перерасчет в соответствии с инструкциями по эксплуатации конкретных видов электрооборудования.

3. Испытания и измерения следует проводить в определенной последовательности. Так, безразлично, например, что испытать сначала – электрическую прочность изоляции или трансформаторное масло. При испытаниях повышенным напряжением в случае плохого качества масла может произойти пробой изоляции. Витковую изоляцию испытывают после испытания главной изоляции, так как в случае пробоя витковой изоляции при испытаниях повышенным напряжением дефект в витках не будет обнаружен. Недопустимо также измерять сопротивление обмоток постоянному току до опыта короткого замыкания. При этом опыте в случае плохого качества пайки схемы или плохого состояния контактов в переключателях, отвод может подгореть или перегореть. Если после этого опыта не измерить сопротивление обмоток постоянному току, то дефект останется необнаруженным.

4. При проведении нескольких видов испытаний изоляции испытанию повышенным напряжением должны предшествовать другие виды ее испытаний.

5. Измерение характеристик изоляции проводят при температуре изоляции не ниже 10 °С не ранее чем через 12 ч после за-

ливки маслом. Значения характеристик изоляции должны быть не ниже приведенных в табл. 1-4.

Таблица 1

Наименьшие допустимые сопротивления изоляции  $R_{60}$ "  
обмоток трансформаторов

Значение $R_{60}$ ", МОм, при температуре, °С							
Температура изоляции	10	20	30	40	50	60	70
Масляные трансформаторы до 35 кВ	450	300	200	130	90	60	40
Масляные трансформаторы 110 кВ	900	600	400	260	180	120	80

Таблица 2

Наибольшие значения  $\text{tg } \delta$  для трансформаторов до 35 кВ

Значение $\text{tg } \delta$ , %, при температуре обмоток, °С							
Температура изоляции	10	20	30	40	50	60	70
Масляные трансформаторы до 35 кВ	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	4,0	6,0
Масляные трансформаторы 110 кВ	0,8	1,0	1,3	1,7	2,3	3,0	4,0

Таблица 3

Наибольшие значения  $C_2/C_{50}$  для трансформаторов

Значение отношения $C_2/C_{50}$ , измеренного при температуре обмоток, °С			
Температура изоляции	10	20	30
Масляные трансформаторы до 35 кВ	1,1	1,2	1,3
Масляные трансформаторы 110 кВ	1,05	1,15	1,25

Для сухих силовых трансформаторов значения  $R_{60}$ " при температуре 20-30 °С приведены в табл. 4.

Таблица 4

Наименьшие допустимые значения сопротивлений  $R_{60}$ "  
обмоток сухих силовых трансформаторов

Номинальное напряжение трансформаторов, кВ	Сопротивление изоляции, МОм
До 1	100
1÷6	300
Более 6	500

Значения коэффициента абсорбции  $k = R_{60''}/R_{15''}$  должно быть не менее 1,3 при температуре измерения от 10 до 30 °С.

**Испытание повышенным напряжением:** а) изоляции обмоток вместе с вводами в соответствии с нормами, представленными в табл. 5. Продолжительность испытания 1 мин (данное испытание для масло-наполненных трансформаторов необязательно); б) изоляции доступных стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок производится напряжением 1–2 кВ в течение 1 мин в случае осмотра активной части.

Таблица 5

Испытательное напряжение промышленной частоты изоляции силовых маслonaполненных трансформаторов и трансформаторов с облегченной изоляцией (сухих и маслonaполненных)

Класс напряжения обмотки, кВ	Испытательное напряжение по отношению к корпусу и другим обмоткам, кВ, для изоляции:	
	нормальной	облегченной
До 0,69	4,5	2,7
3	16,2	9
6	22,5	15,4
10	31,5	21,6

**Измерение сопротивления обмоток постоянному току** производят на всех ответвлениях, если для этого не требуется выемки сердечника. Значение сопротивления не должно отличаться более чем на 2 % от значения, полученного на таком же ответвлении других фаз, или от паспортных данных.

**Проверка коэффициента трансформации** производится на всех ступенях переключения. Коэффициент трансформации не должен отличаться более чем на 2 % от значений, полученных на том же ответвлении других фаз, или от паспортных данных.

**Проверка группы соединения** производится лишь при отсутствии паспортных данных.

**Измерение тока и потерь холостого хода** производится для трансформаторов свыше 1000 кВ, а при номинальном или пони-

женном напряжении – с пересчетом на номинальное напряжение. Ток холостого хода не нормируется.

**Снятие круговой диаграммы** производится на всех положениях переключателя. Круговая диаграмма не должна отличаться от диаграммы завода-изготовителя.

**Испытание бака с радиаторами гидравлическим давлением** производят давлением столба масла, высоту которого над уровнем заполненного расширителя принимают: для трубчатых и гладких баков 0,6 м; для волнистых и радиаторных баков 0,3 м. Если в течение 3 ч при температуре масла не ниже 10 °С не наблюдается течи, то бак считают герметичным.

**Проверка системы охлаждения.** Режим пуска и работы охлаждающих устройств должен соответствовать инструкции завода-изготовителя.

**Проверка состояния силикагеля.** Индикаторный силикагель должен иметь равномерную голубую окраску зерен. Изменение цвета свидетельствует об увлажнении силикагеля. Для восстановления свойств силикагель прокаливают в печах.

**Испытание трансформаторного масла.** Пробу масла из трансформатора отбирают после доливки (или заливки) и отстоя в течение не менее 12 ч для трансформаторов до 35 кВ включительно. Отбор пробы масла производят из специально предназначенного для этого крана (или пробки), имеющегося на баке трансформатора.

Взятое на пробу масло испытывают на содержание механических примесей, взвешенного угля, на кислотное число, реакцию водной вытяжки, температуру вспышки. При этом пробивное напряжение масла должно быть не менее 25 кВ для трансформаторов напряжением до 15 кВ включительно.

**Испытание вводов** производят по следующим параметрам: сопротивление изоляции измерительной и последней обкладок вводов, измеренное относительно соединительной втулки (производят мегаомметром на 1–2,5 кВ), не должно быть менее 1000 МОм;

тангенс угла диэлектрических потерь, измеренный при напряжении 3 кВ, не должен превышать 3 % при номинальном напряжении ввода от 3 до 15 кВ;

испытание вводов повышенным напряжением производят для вводов, установленных на трансформаторах, в течение 1 мин совместно с обмотками по нормам табл. 5. Ввод считают выдержавшим испытание, если при этом не наблюдалось пробоя, скользящих разрядов, выделений газа, а так же если после испытаний не обнаружено местного перегрева изоляции.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Измерения характеристик изоляции производят при температуре изоляции не ниже 10 °С не ранее чем через 12 ч после окончания заливки маслом. Измерения производят по схемам табл. 6. При измерении все вводы обмоток одного напряжения соединяют вместе, остальные обмотки и бак трансформатора должны быть заземлены. Вначале измеряют  $R_{15''}$  и  $R_{15''}/R_{60''}$ , затем остальные характеристики изоляции.

Таблица 6

Схемы измерения характеристик изоляции трансформаторов

Двухобмоточные трансформаторы		Трехобмоточные трансформаторы	
Обмотки, на которых производят измерения	Заземляемые части трансформаторов	Обмотки, на которых производят измерения	Заземляемые части обмоток
НН	Бак, ВН	НН	Бак, СН, ВН
ВН	Бак, НН	СН	Бак, ВН, НН
ВН+НН	Бак	ВН	Бак, НН, СН
		ВН+СН	Бак, НН
		ВН+СН+НН	Бак

За температуру изоляции трансформатора, не подвергавшегося нагреву, принимают температуру верхних слоев масла. Для трансформаторов без масла температура определяется термометром, установленным в карман термосигнализатора на крышке бака, причем карман следует заполнять маслом.

Если температура масла ниже 10 °С, то для измерения характеристик изоляции трансформатор должен быть нагрет. При нагреве трансформатора температуры изоляции обмоток принимают равной средней температуре обмоток ВН, определяемой по



сопротивлению обмотки постоянному току. Измерение указанного сопротивления производят не ранее чем через 60 мин после отключения нагрева обмотки током и не ранее чем через 30 мин после отключения внешнего обогрева. Сопротивление изоляции измеряют мегаомметром на 2500 В с верхним пределом не ниже 10 МОм. Перед началом каждого измерения испытываемая обмотка должна быть заземлена на время не менее 2 мин для снятия возможного емкостного заряда.

Для приведения значений  $R_{60}$  ", измеренных на заводе, к температуре измерений на монтаже  $t_1$  , а также для определения нормированных значений  $R_{60}$  " при температурах, не кратных десяти, производят пересчет с помощью коэффициента  $k_2$ , который имеет следующие значения:

$t_2-t_1, ^\circ\text{C}$	5	10	15	20	25	30	35
$k_2$	1,23	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4	4,15
$t_2-t_1, ^\circ\text{C}$	40	45	50	55	60	65	70
$k_2$	5,1	6,2	7,5	9,2	11,2	13,9	17

### Вопросы по теме занятия

1. Какие виды испытаний трансформатора производят после монтажа?
2. В чем заключается физическая сущность характеристик изоляции:  
 $R_{60}$ ";  $R_{60}$ "/  $R_{15}$ ";  $\text{tg } \delta$ ;  $C_2/C_{50}$ ;  $\Delta C_2/ ?$
3. Как производят испытание повышенным напряжением промышленной частоты:
  - а) изоляции обмоток вместе с вводами;
  - б) изоляции доступных стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок.
4. Для чего производят измерение сопротивления обмоток постоянному току?
5. Для чего производится проверка коэффициента трансформации?
6. В каких случаях проводят проверку группы соединения трехфазных трансформаторов и полярности выводов однофазных трансформаторов?

7. Для чего измеряют ток и потери холостого хода трансформатора?
8. Для чего проверка работы переключающего устройства и снятие круговой диаграммы?
9. Для чего производится испытание бака с радиаторами гидравлическим давлением?
10. Для чего проводится проверка системы охлаждения?
11. В каких случаях проводится проверка состояния силикагеля?
12. Для чего производится фазировка трансформаторов?
13. Для чего производится испытание трансформаторного масла?
14. В каких случаях испытания вводов признаются успешными?
15. Для чего производят испытания включением толчком на номинальное напряжение?

### Список литературы

1. Михеев, Г. М. Электростанции и электрические сети: диагностика и контроль электрооборудования. – М.: Додэка-XXI, 2010. – 224 с.
2. Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 140610 направления подготовки 140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». – СПб.: Лань, 2012. – 400 с.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2767](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2767)
3. Объем и нормы испытаний электрооборудования [Электронный ресурс]: РД 34.45-51.300-97 / РАО «ЕЭС России». – Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2008. – 240 с.  
<http://www.biblioclub.ru/book/57318/>