

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

МОНТАЖ, НАЛАДКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
для студентов специальности 1-43 01 03
«Электроснабжение» дневной и заочной
форм обучения**

Гомель 2009

УДК 621.311.002.5(075.8)
ББК 31.16я73
М77

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 1 от 22.09.2008 г.)*

Составители: *Ю. А. Рудченко, А. А. Парфенов*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Автоматизированный электропривод» ГГТУ
им. П. О. Сухого *Л. В. Веннер*

М77

Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : лаб. практикум для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» днев. и заоч. форм обучения / сост.: Ю. А. Рудченко, А. А. Парфенов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 58 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Содержатся краткие теоретические сведения, описание приборов и оборудования. Изложен порядок и правила техники безопасности, необходимые для выполнения лабораторных работ по курсу «Наладка и эксплуатация энергооборудования».

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 621.311.002.5(075.8)
ББК 31.16я73**

- © Рудченко Ю. А., Парфенов А. А., составление, 2009
- © Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2009

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Тема: Проверка и испытание трансформаторов тока

Цель: Изучение норм, периодичности и объема испытаний трансформаторов тока. Снятие характеристики намагничивания трансформаторов тока.

Теоретическая часть

Объем и сроки проведения испытаний трансформаторов тока приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Объем и сроки проведения испытаний трансформаторов тока

Наименование оборудования	После ввода в эксплуатацию		Очередной срок		Примечание
	через лет	объем	через лет	объем	
ТТ-6-10 кВ	4	$R_{из}, U_{пов}$	8	$R_{из}, U_{пов}$	При проведении работ в ячейках где они установлены
ТТ-35 кВ	1	$R_{из}, U_{пов}$	8	$R_{из}, U_{пов}$	
ТТ-110-220 кВ	1	$R_{из}, U_{пов}$	8	$R_{из}, U_{пов}$	ТТ с бумажно-масляной изоляцией (без уравнительных укладок) при неудовлетворительных результатах испытаний масла
ТТ-330-750 кВ, не оснащенные системой контроля под рабочим напряжением	1	$R_{из}, U_{пов}$	4	$R_{из}, U_{пов}$	ТТ с бумажно-масляной изоляцией (без уравнительных укладок) при неудовлетворительных результатах испытаний масла. ТТ типа ТФКН-330 испытываются ежегодно

Далее приняты следующие условные обозначения категорий контроля:

П – при вводе в эксплуатацию нового электрооборудования и электрооборудования, прошедшего восстановительный или капитальный ремонт и реконструкцию на специализированном ремонтном предприятии;

К – при капитальном ремонте;

С – при среднем ремонте;

Т – при текущем ремонте;

М – между ремонтами.

1.1. П, К, М. Измерение сопротивления изоляции

Измерение сопротивления основной изоляции трансформаторов тока, изоляции измерительного конденсатора и вывода последней обкладки бумажно-масляной изоляции конденсаторного типа проводится мегаомметром на 2500 В.

Измерение сопротивления вторичных обмоток и промежуточных обмоток каскадных трансформаторов тока относительно цоколя проводится мегаомметром на 1000 В.

Измеренные значения сопротивления изоляции должны быть не меньше, чем приведенные в таблице 1.2.

У каскадных трансформаторов тока сопротивление изоляции измеряется для трансформатора тока в целом. При неудовлетворительных результатах таких измерений сопротивление изоляции дополнительно измеряется по ступеням.

Таблица 1.2

Допустимые величины сопротивления изоляции

Класс напряжения	Сопротивление изоляции, МОм, не менее				
	Основная изоляция	Измерительный вывод	Наружные слои	Вторичные обмотки	Промежуточные обмотки
3-35	1000/500	-	-	50(1)/50(1)	-
110-220	3000/1000	-	-	50(1)/50(1)	-
330-750	5000/3000	3000/1000	1000/500	50(1)/50(1)	1/1

Примечания. Сопротивления изоляции вторичных обмоток приведены: без скобок – при отключенных вторичных цепях, в скобках – с подключенными вторичными цепями. В числителе указаны значения сопротивления изоляции трансформаторов тока при вводе в эксплуатацию, в знаменателе – в процессе эксплуатации.

1.2. П, К, М. Измерение $tg\varphi$ изоляции

Измерения $tg\varphi$ у трансформаторов тока с основной бумажно-масляной изоляцией проводятся при напряжении 10 кВ.

Измеренные значения, приведенные к температуре 20°C, должны быть не больше, чем указанные в таблице 1.3.

У каскадных трансформаторов тока $tg\varphi$ основной изоляции измеряется для трансформатора в целом. При неудовлетворительных

результатах таких измерений $tg\varphi$ основной изоляции дополнительно измеряется по ступеням.

Таблица 1.3

Приведенные к температуре 20°C предельные значения $tg\varphi$, %, основной изоляции трансформаторов тока

Тип изоляции	Номинальное напряжение трансформаторов тока, кВ					
	3-15	20-35	110	220	330	750
Бумажно-бакелитовая	3,0/12,0	2,5/8,0	2,0/5,0	-	-	-
Основная бумажно-масляная и конденсаторная изоляция	-	2,5/4,5	2,0/3,0	1,0/1,5	П. Не более 150 % от измеренного на заводе, но не выше 0,8. М. Не более 150 % от измеренного при вводе в эксплуатацию, но не выше 1,0	

Примечание. В числителе указаны значения $tg\delta$ основной изоляции трансформаторов тока при вводе в эксплуатацию, в знаменателе — в процессе эксплуатации.

1.3. П, К, М. Испытание повышенным напряжением

1.3.1. П, К. Испытание повышенным напряжением основной изоляции

Значения испытательного напряжения основной изоляции приведены в таблице 1.4. Длительность испытания трансформаторов тока с фарфоровой внешней изоляцией – 1 мин, с органической изоляцией – 5 мин.

Допускается проведение испытаний трансформаторов тока совместно с ошиновкой. Трансформаторы тока напряжением более 35 кВ не подвергаются испытаниям повышенным напряжением.

1.3.2. П, К, М. Испытание повышенным напряжением изоляции вторичных обмоток

Значение испытательного напряжения для изоляции вторичных обмоток вместе с присоединенными к ним цепями принимается равным 1 кВ.

Продолжительность приложения испытательного напряжения – 1 мин.

Таблица 1.4

**Испытательные напряжения промышленной частоты
электрооборудования классов напряжения до 110 кВ с
нормальной и облегченной изоляцией**

Класс напряже- ния элек- трообору- дования, кВ	Испытательное напряжения, кВ					
	Силовые трансформаторы, шунти- рующие и дугогасящие реакторы			Аппараты, трансформаторы тока и напряжения, токоограничивающие реакторы, изоляторы, вводы, конденса- торы связи, экранированные токо- проводы, КРУ и КТП		
	На заводе изготовите- ле	При вводе в эксплуата- цию	В эксплуа- тации	На заводе изготовителе	Перед вводом в экс- плуатацию и в эксплуа- тации	
					Фарфоровая изоляция	Другие виды изоляции
До 0,69	5,0/30	4,5/2,7	4,3/2,6	2	1	1
3	18,0/10,0	16,2/9,0	165,3/8,5	24	24	21,6
6	25,0/16,0	22,5/14,4	21,3/13,6	32,0(37,0)	32,0(37,0)	28,8(33,3)
10	35,0/24,0	31,5/21,6	29,8/20,4	42,0(48,0)	42,0(48,0)	37,8(43,2)
15	45,0/37,0	40,5/33,3	38,3/31,5	55,0(63,0)	55,0(63,0)	49,5(56,7)
20	55,0/50,0	49,5/45,0	46,8/42,5	65,0(75,0)	65,0(75,0)	58,5(67,5)
35	85	76,5	72,3	96,0(120,0)	95,0(120,0)	85,5(108,0)
110	–	–	–	–	–	238,5

Примечания:

1. Испытательные напряжения, указанные в виде дроби, распространяются на электрооборудование: числитель – с нормальной изоляцией, знаменатель – с облегченной изоляцией.
2. Если электрооборудование на заводе-изготовителе было испытано напряжением, отличающимся от указанного, испытательные напряжения при вводе в эксплуатацию и в эксплуатации должны быть соответственно скорректированы.

1.4. П, К. Снятие характеристик намагничивания

Характеристика снимается повышением напряжения на одной из вторичных обмоток до начала насыщения, но не выше 1800 В.

При наличии у обмоток ответвлений характеристика снимается на рабочем ответвлении.

В процессе эксплуатации допускается снятие только трех контрольных точек.

Снятая характеристика сопоставляется с типовой характеристикой намагничивания или с характеристиками намагничивания исправных трансформаторов тока, одностипных с проверяемыми.

Отличия от значений, измеренных на заводе-изготовителе, или от измеренных на исправном трансформаторе тока, однотипном с проверяемым, не должны превышать 10 %.

1.5. П. Измерение коэффициента трансформации

Отклонение измеренного коэффициента от указанного в паспорте или от измеренного на исправном трансформаторе тока, однотипном с проверяемым, не должно превышать 2 %.

1.6. П, К. Измерение сопротивления обмоток постоянному току

Отклонение измеренного сопротивления обмотки постоянному току от паспортного значения или от измеренного на других фазах не должно превышать 2 %. При сравнении измеренного значения с паспортными данными измеренное значение сопротивления должно приводиться к заводской температуре. При сравнении с другими фазами измерения на всех фазах должны проводиться при одной и той же температуре.

1.7. П, М. Испытания трансформаторного масла

При вводе в эксплуатацию трансформаторов тока свежее сухое трансформаторное масло перед и после заливки (доливки) в трансформаторы должно быть испытано в соответствии с требованиями разделов 25 и 33 [1].

В процессе эксплуатации трансформаторное масло из трансформаторов тока напряжением:

- до 35 кВ включительно допускается не испытывать,
- 110 кВ и выше в соответствии с требованиями разделов 25 и 33 [1].

У маслonaполненных каскадных трансформаторов тока оценка состояния трансформаторного масла в каждой ступени проводится по нормам, соответствующим рабочему напряжению ступени.

При хроматографическом анализе масла из трансформаторов тока граничные значения концентраций растворенных в масле газов принимаются в 10 раз меньше, чем значения граничных концентраций для силовых трансформаторов.

1.8. П, К, М. Испытания встроенных трансформаторов тока

Испытания встроенных трансформаторов тока проводятся по пп. 1.1, 1.3.2, 1.4-1.6.

Измерение сопротивления изоляции встроенных трансформаторов тока проводится мегаомметром на напряжение 1000 В.

Измеренное сопротивление изоляции без вторичных цепей должно быть не менее 10 МОм.

Допускается измерение сопротивления изоляции встроенных трансформаторов тока вместе со вторичными цепями. Измеренное сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм.

1.9. М. Тепловизионный контроль

Тепловизионный контроль трансформаторов тока проводится в соответствии с приложением 3 [1].

1.10. П, М. Контроль изоляции под рабочим напряжением

Контроль изоляции трансформаторов тока под рабочим напряжением рекомендуется проводить у трансформаторов тока 330 – 750 кВ. Измерения проводятся в период положительных температур окружающего воздуха.

Для трансформаторов тока, контролируемых под рабочим напряжением, контроль по пп. 1.1, 1.2 и 1.7 проводится при неудовлетворительных результатах испытаний по п. 1.10 (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Предельные значения, % параметров $\Delta tg\phi$ и $\Delta Y/Y$

Класс напряжения, кВ	При периодическом контроле	При непрерывном контроле
220	2	3
330	1,5	2
750	1	1,5

Контролируемые параметры: изменения тангенса угла диэлектрических потерь ($\Delta tg\phi$) и емкости ($\Delta C/C$) основной изоляции или (и) изменение ее модуля полной проводимости ($\Delta Y/Y$). Допускается контроль по одному из параметров ($\Delta tg\phi$ или $\Delta Y/Y$).

Изменение значений контролируемых параметров определяется как разность результатов двух измерений: очередных и при вводе в работу системы контроля под рабочим напряжением.

Предельные значения увеличения емкости изоляции составляют 5 % значения, измеренного при вводе в работу системы контроля под рабочим напряжением.

Периодичность контроля трансформаторов тока под рабочим напряжением в зависимости от величины контролируемого параметра до организации непрерывного автоматизированного контроля приведена в таблице 1.6.

Периодичность непрерывного контроля определяется местной инструкцией.

Таблица 1.6

Периодичность контроля и значения, %, $\Delta tg\varphi$ и $\Delta Y/Y$

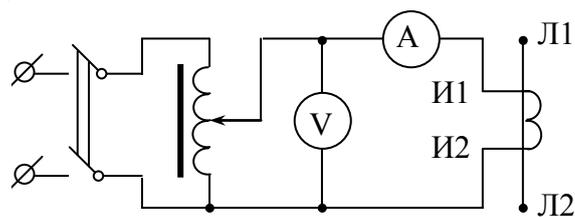
Класс напряжения, кВ	Значения $\Delta tg\varphi$ и $\Delta Y/Y$, %	Периодичность контроля
220	$0 \leq \Delta tg\varphi \leq 0,5$	1 раз в 12 месяцев
	$0,5 \leq \Delta tg\varphi \leq 2,0$	1 раз в 6 месяцев
330	$0 \leq \Delta tg\varphi \leq 0,5$	1 раз в 6 месяцев
	$0,5 \leq \Delta tg\varphi \leq 1,5$	1 раза в 3 месяца
750	$0 \leq \Delta tg\varphi \leq 0,5$	1 раз в 6 месяцев
	$0,5 \leq \Delta tg\varphi \leq 1,0$	1 раз в 3 месяца

Снятие характеристик намагничивания трансформаторов тока

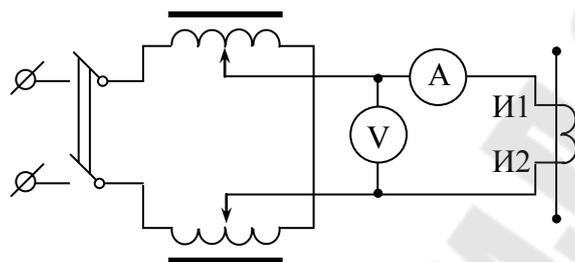
Кроме выявления повреждения стали или наличия замкнутых витков характеристики намагничивания используются для определения пригодности трансформаторов тока по их погрешностям для использования в данной схеме релейной защиты при данной нагрузке.

Характеристика намагничивания в общем случае, снимается при подаче тока от постороннего источника во вторичную обмотку с измерением напряжения на выводах обмотки (рис. 1.1). Однако в некоторых случаях характеристика может сниматься при подаче тока в

первичную обмотку с измерением напряжения на выводах вторичной обмотки (рис. 1.2).



а)



б)

Рис. 1.1. Схема снятия характеристики намагничивания трансформаторов тока: а – с одним регулировочным трансформатором; б – с двумя автотрансформаторами

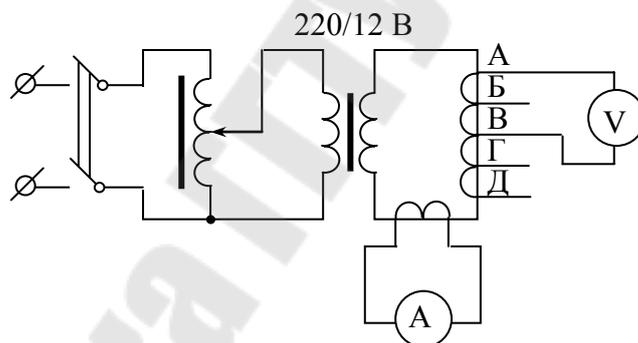


Рис. 1.2. Схема снятия характеристик намагничивания встроенных трансформаторов тока

Это особенно удобно при проверке трансформаторов с вторичным током 1 А, так как сопротивление ветви намагничивания у них очень большое и для снятия характеристик намагничивания приходится подавать на вторичную обмотку напряжение до 1500 В, что осложняет проверку и небезопасно для витковой изоляции.

Допускается отклонение снятой при проверке характеристики от типовой не более чем на 20%. Если снятая характеристика ниже типовой более чем на 20%, включать в работу такой трансформатор тока не рекомендуется.

При снятии характеристики намагничивания имеет значение способ регулирования тока, так как в зависимости от того, чем регулируется напряжение – реостатом, потенциометром или автотрансформатором, изменяется характер кривой намагничивания одного и того же трансформатора тока из-за различной степени искажения формы кривой тока намагничивания.

В качестве источника регулируемого напряжения рекомендуется использовать лабораторный автотрансформатор ЛАТР-1, позволяющий плавно регулировать напряжение в пределах от 0 до 250 В. При работе трансформатора тока с погрешностью не выше 10% в реальных условиях прохождения короткого замыкания при данной нагрузке форма кривой вторичного тока близка к синусоиде; эта же картина имеет место при регулировании тока с помощью автотрансформатора.

Характеристика намагничивания снимается до номинального тока или до начала насыщения измерением напряжения при 6-8 значениях тока (больше измерений из этого количества делается для начальной части характеристики). У трансформаторов небольшой мощности насыщение наступает при токе до 5 А. У мощных трансформаторов тока, имеющих большой коэффициент трансформации и особенно используемых для дифференциальных защит, насыщение наступает при токах, значительно меньших 5 А; характеристики таких трансформаторов снимают, до максимально возможного напряжения постороннего источника (обычно 380 В). Схема с двумя регулировочными автотрансформаторами (рис. 1, б) позволяет получить напряжение до 500 В при наличии в сети 380 В.

При снятии характеристики трансформаторов тока на большие первичные токи 8000-12000 А и со вторичным током 1 А для достижения насыщения требуется подавать на вторичную обмотку напряжение свыше 500 В. Для этого напряжение на проверяемую обмотку подается не непосредственно от ЛАТР, а через повышающий трансформатор напряжения (рис. 1.3).

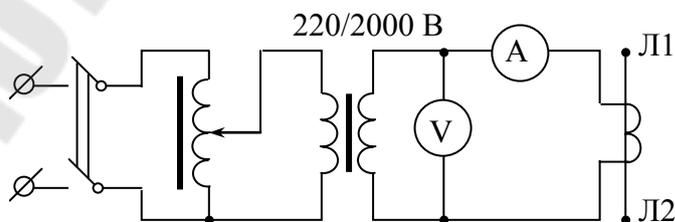


Рис. 1.3. Снятие характеристик намагничивания с помощью повышающего трансформатора напряжения

Для проверки и оценки погрешности трансформаторов тока, предназначенных для питания релейной защиты или фиксирующих приборов, характеристики намагничивания должны сниматься до начала насыщения или до тока намагничивания, равного 10 % максимального тока короткого замыкания, который может проходить через данный трансформатор тока.

Как правило, характеристику намагничивания снимают у группы идентичных трансформаторов тока. Для более точного выявления характера кривой в этом случае на одном из трансформаторов тока снимается подробная характеристика с измерением напряжения при 12-15 значениях тока намагничивания. По результатам измерения строится характеристика $U = f(I_{\text{нам}})$ и по ней определяются наиболее характерные 6-8 точек, с которыми сравниваются аналогичные результаты измерения на остальных трансформаторах тока данного типа. Примеры характеристик для различных типов трансформаторов тока приведены на рис. 4 (сплошные линии – $E_2 = f(I_{\text{нам}})$, пунктирные линии – $U_2 = f(I_{\text{нам}})$).

Для снятия характеристики намагничивания используются амперметр и вольтметр электродинамической или электромагнитной системы. При сборке схемы измерений следует обращать внимание на включение амперметра. Последний включается по схеме на рисунке 1 таким образом, чтобы исключить замер тока, проходящего через вольтметр с током $I_{\text{нам}}$. Однако, когда снимаются характеристики намагничивания у встроенных трансформаторов тока, сопротивление вторичной обмотки которых соизмеримо с внутренним сопротивлением амперметра, следует измерять напряжение непосредственно включенным на выводы И1 и И2 вольтметром. Но при этом необходимо иметь в виду, что амперметром измеряется не только ток намагничивания, но и ток, проходящий через вольтметр. Для исключения погрешности в измерениях в этом случае используют вольтметр с высоким внутренним сопротивлением. Применение электромагнитного или электродинамического вольтметра исключено, так как вольтметры этих систем имеют недостаточно высокое внутреннее сопротивление. В качестве вольтметров с достаточно большим внутренним сопротивлением используются полупроводниковые вольтметры, несмотря на то, что они реагируют не на действующее, а на среднее значение измеряемого напряжения. Важно, чтобы у однотипных трансформаторов тока характеристики снимались одинаковыми при-

борами и по одной и той же схеме. Это позволит сравнивать характеристики между собой и при последующей эксплуатации.

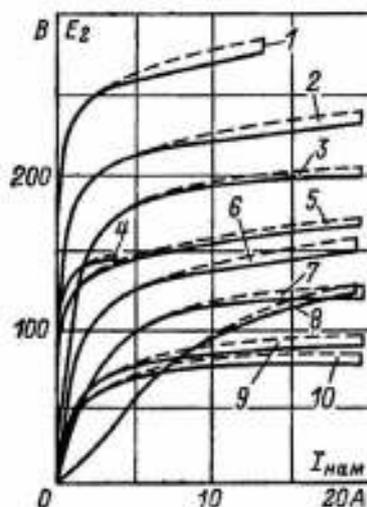


Рис. 1.4. Характеристики намагничивания трансформаторов тока различных типов: 1 – ТФНД-110; 2 – ТВД-110; 3 – ТПОФ-0,5; 4 – МКП-35; 5 – ТВД-35; 6 – ТПФД; 7 – ТВД-220; 8 – ТВД-274; 9 – ТФ-10; 10 – ТМГД-35

Удобно характеристику намагничивания у трансформаторов тока с вторичным током 1 А снимать, подавая ток в первичную обмотку и измеряя напряжение на вторичной обмотке. Для этого в первичную обмотку выносных трансформаторов пропускается ток, а к выводам вторичной обмотки присоединяется вольтметр с высоким внутренним сопротивлением (1,5-2 кОм/В) и шкалой, позволяющей измерять напряжение от 10 до 2000 В. Ток, пропускаемый через первичную обмотку, регулируется автотрансформатором, включенным со стороны высокого напряжения однофазного вспомогательного нагрузочного трансформатора мощностью не менее 500-600 В·А (рис. 1.2). Характеристика намагничивания снимается в таком же порядке, как и при подаче напряжения для регулирования тока на вторичную обмотку.

При наличии встроенных трансформаторов тока характеристика намагничивания снимается дважды: до закладки трансформатора для определения его исправности и после закладки и установки втулок на выключатель или силовой трансформатор для проверки отсутствия возможного повреждения трансформатора тока при установке втулки и распорок. У встроенных трансформаторов тока характеристика намагничивания также может сниматься первичным током, но поскольку снятие характеристики намагничивания трансформаторов тока первичным током после установки втулки затруднено, а у силовых

трансформаторов просто невозможно, то наряду со снятием характеристик первичным током снимается несколько точек зависимости $U_2 = f(I_{\text{нам}})$ вторичным током. Результаты последних измерений используются для проверки исправности трансформатора тока после установки втулок. В последующий период эксплуатации снятые при наладке характеристики намагничивания используются для периодического контроля исправности трансформаторов тока.

Снятие характеристики намагничивания у каскадных трансформаторов тока, например используемых, в установках 400-500 кВ и выше, состоящих из двух и больше ступеней, имеет свои особенности [2].

Порядок выполнения работы

1. Снять характеристику намагничивания трансформатора тока.
2. Снять характеристику намагничивания трансформатора тока при наличии в его обмотке короткозамкнутых витков.
3. Определить сопротивление изоляции обмоток.
4. Определить сопротивление обмоток постоянному току.

Правила техники безопасности

При выполнении данной лабораторной работы **запрещается**:

1. Включать стенд без разрешения преподавателя.
2. Вести монтаж схемы при включенном питании.
3. Использовать провода с поврежденной изоляцией.

Содержание отчета

1. Схемы проведения экспериментов.
2. Таблицы и графики результатов эксперимента.
3. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Как проводятся (схемы, порядок проведения эксперимента и правила ТБ):
 - 1.1 Измерение сопротивления изоляции;
 - 1.2 Измерение $tg\delta$ изоляции;
 - 1.3 Испытание повышенным напряжением;
 - 1.4 Снятие намагничивающей характеристики;
 - 1.5 Измерение коэффициента трансформации;
 - 1.6 Измерения сопротивления обмоток постоянному току;
 - 1.7 Испытание трансформаторного масла;

- 1.8 Испытание встроенных трансформаторов тока;
- 1.9 Тепловизионный контроль;
- 1.10 Контроль изоляции под рабочим напряжением.
2. Какие типы испытаний проводят при вводе в эксплуатацию трансформаторов тока.
3. Какие типы испытаний проводят при капитальном ремонте трансформаторов тока.
4. Какие типы испытаний проводят между ремонтами трансформаторов тока.
5. Мегаомметры на какое напряжение применяются для измерения сопротивления изоляции.
6. Что понимают под тангенсом угла диэлектрических потерь?
7. Для определения каких повреждений проводится снятие характеристики намагничивания?

Литература

1. Нормы и объем испытаний электрооборудования белорусской энергосистемы.
2. Мусаэлян Э.С. Наладка и испытание электрооборудования электростанций и подстанций. – М.: Энергия, 1979. – 464 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема: Проверка и испытание электродвигателей переменного тока

Цель: изучение норм, периодичности и объема испытаний электрических машин.

Теоретическая часть

Электродвигатели переменного тока

2.1. П, К, Т. Измерение сопротивления изоляции

Проводится мегомметром, напряжение которого указано в табл. 2.1 Допустимые значения сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции R_{60}/R_{15} указаны в табл. 2.1-2.3.

2.2. П.К. Оценка состояния изоляции обмоток электродвигателей при решении вопроса о необходимости сушки

Электродвигатели переменного тока включаются без сушки, если значения сопротивления изоляции обмоток и коэффициента абсорбции не ниже указанных в табл. 2.1-2.3.

2.3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты

Значение испытательного напряжения принимаются согласно табл. 2.4

Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин.

2.4. П, К. Измерение сопротивления постоянному току

Измерение проводится при практически холодном состоянии машины.

2.4.1. Обмотки статора и ротора

Измерение проводится у электродвигателей на напряжение 3 кВ и выше.

Приведенные к одинаковой температуре измеренные значения сопротивлений различных фаз обмоток, а также обмотки возбуждения синхронных двигателей не должны отличаться друг от друга и от исходных данных больше чем на 2 %.

Сопротивление постоянному току обмотки ротора измеряется у синхронных электродвигателей и асинхронных электродвигателей с фазным ротором.

Таблица 2.1

Допустимые значения сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции

Испытуемый элемент	Вид измерения	Напряжение мегомметра, В	Допустимое значение сопротивления изоляции, МОм, и коэффициента абсорбции	Примечание
1. Обмотка статора	П К, Т*	2500/ 1500/ 500**	В соответствии с указаниями табл. 2.2 Для электродвигателей, находящихся в эксплуатации, допустимые значения сопротивления изоляции R_{60} и коэффициент абсорбции не нормируются, но должны учитываться при решении вопроса о необходимости их сушки	В эксплуатации определение коэффициента абсорбции R_{60}/R_{15} обязательно только для электродвигателей напряжением выше 3 кВ или мощностью более 1 МВт.
2. Обмотка ротора	П К, Т*	1000 (допускается 500)	0,2 2	Измерение проводится у синхронных двигателей и электродвигателей с фазным ротором на напряжение 3 кВ и выше или мощностью более 1 МВт
3. Термоиндикаторы с соединительными проводами	П, К	250	2	
4. Подшипники	П, К	1000	2	Измерение проводится у электродвигателей на напряжение 3 кВ и выше, подшипники которые имеют изоляцию относительно корпуса. Измерение проводится относительно фундаментной плиты при полностью собранных маслопроводах. В эксплуатации измерение проводится при ремонтах с выемкой ротора

Примечания:

* – при текущих ремонтах измеряется, если для этого не требуется специально проведения демонтажных работ.

** – сопротивление изоляции измеряется при номинальном напряжении обмотки до 0,5 кВ включительно мегомметром на напряжение 500 В,

при номинальном напряжении обмотки от 0,5 кВ до 1 кВ – мегомметром на напряжение 1000 В, а при номинальном напряжении обмотки выше 1 кВ – мегомметром на напряжение 2500 В

Таблица 2.2

Допустимые значения сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции для обмоток статора электродвигателей

Мощность, номинальное напряжение электродвигателя, вид изоляции обмоток	Критерии оценки состояния изоляции обмотки статора	
	Значение сопротивления изоляции, МОм	Значение коэффициента абсорбции R_{60}/R_{15}
1. Мощность более 5 МВт, терморезистивная и микалентная компаундированная изоляция	Согласно условиям включения синхронных генераторов [1, п.3.2]	–
2. Мощность 5 МВт и ниже, напряжение выше 1 кВ, терморезистивная изоляция	При температуре 10-30 °С сопротивление изоляции не ниже 10 МОм на киловольт номинального линейного напряжения	Не менее 1,3 при температуре 10-30 °С
3. Двигатели с микалентной компаундированной изоляцией, напряжение свыше 1 кВ, мощность от 1 до 5 МВт включительно, а также двигатели меньшей мощности наружной установки с такой же изоляцией напряжением свыше 1 кВ.	Не ниже значений, указанных в табл. 2.3	Не ниже 1,2
4. Двигатели с микалентной компаундированной изоляцией, напряжение свыше 1 кВ, мощность менее 1МВт, кроме указанных в п.3 данной таблицы	Не ниже значений, указанных в табл. 2.3	–
5. Напряжение ниже 1 кВ, все виды изоляции	Не ниже 1 МОм при температуре 10-30 °С	–

Таблица 2.3

Наименьшие допустимые значения сопротивления изоляции для электродвигателей (табл. 2.2, пп. 2.3 и 2.4)

Температура обмотки, °С	Сопротивление изоляции R_{60} , МОм, при номинальном напряжении обмотки, кВ		
	3-3,15	6-6,3	10-10,5
10	30	60	100
20	20	40	70
30	15	30	50
40	10	20	35
50	7	15	25
60	5	10	17
75	3	6	10

Таблица 2.4

Испытательные напряжения промышленной частоты для обмоток электродвигателей переменного тока

Испытуемый элемент	Вид испытания	Мощность электродвигателя, кВт	Номинальное напряжение электродвигателя, кВ	Испытательное напряжение, кВ	
1. Обмотка статора	П	Менее 1,0	Ниже 0,1	$0,8 \cdot (2 \cdot U_{\text{ном}} + 0,5)$	
		От 1,0 до 1000	Ниже 0,1 Выше 0,1	$0,8 \cdot (2 \cdot U_{\text{ном}} + 1)$ $0,8 \cdot (2 \cdot U_{\text{ном}} + 1)$, но не менее 1,2	
		От 1000 и более	До 3,3 включительно	$0,8 \cdot (2 \cdot U_{\text{ном}} + 1)$	
		От 1000 и более	Свыше 3,3 до 6,6 включительно	$0,8 \cdot 2,5 U_{\text{ном}}$	
		От 1000 и более	Свыше 6,6	$0,8 \cdot (2 \cdot U_{\text{ном}} + 3)$	
	К	40 и более, а также электродвигатели ответственных механизмов*	0,4 и ниже	0,4 и ниже	1,0
			0,5	0,5	1,5
			0,66	0,66	1,7
			2	2	4
			3	3	5
		6	6	10	
		10	10	16	
		Менее 40	0,66 и ниже	1	
2. Обмотки ротора синхронных электродвигателей, предназначенных для непосредственного пуска, с обмоткой возбуждения, замкнутой на резистор или источник питания	П	—	—	8-кратное $U_{\text{ном}}$ системы возбуждения, но не менее 1,2 и не более 2,8	
	К	—	—	1,0	
3. Обмотка ротора электродвигателя с фазным ротором	П, К	—	—	$1,5 \cdot U_p^{**}$, но не менее 1,0	
4. Резистор цепи гашения поля синхронных двигателей	П, К	—	—	2,0	
5. Реостаты и пускорегулировочные резисторы	П, К	—	—	$1,5 \cdot U_p^{**}$, но не менее 1,0	

Примечания:

* – испытание необходимо проводить при капитальном ремонте (без смены обмоток) тотчас после останова электродвигателя до его очистки от загрязнений;

** U_p – напряжение на кольцах при разомкнутом неподвижном роторе и полном напряжении на статоре.

2.4.2. Реостаты и пускорегулировочные резисторы

Для реостатов и пусковых резисторов, установленных на электродвигателях напряжением 3 кВ и выше, сопротивление измеряется на всех ответвлениях. Для электродвигателей напряжением ниже 3 кВ измеряется общее сопротивление реостатов и пусковых резисторов и проверяется целостность отпаек.

Значения сопротивлений не должны отличаться от исходных значений больше чем на 10 %.

При капитальном ремонте проверяется целостность цепей.

2.5. П, К. Измерение воздушного зазора между сталью ротора и статора

Измерение зазоров должно проводиться, если позволяет конструкция электродвигателя. При этом, у электродвигателей ответственных механизмов, а также у электродвигателей с выносными подшипниками и подшипниками скольжения, величины воздушных зазоров в четырех точках, расположенных по окружности ротора и сдвинутых относительно друг друга на угол 90° , или в местах, специально предусмотренных при изготовлении электродвигателя, не должны отличаться больше, чем на 10 % от среднего значения.

2.6. П, К. Измерение зазоров в подшипниках скольжения

Увеличение зазоров в подшипниках скольжения более значений, приведенных в табл. 2.5, указывает на необходимость перезаливки вкладыша.

Таблица 2.5

Допустимые величины зазоров в подшипниках скольжения электродвигателя

Номинальный диаметр вала, мм	Зазор, мм, при частоте вращения, об/мин		
	До 1000	От 1000 до 1500 включительно	Свыше 1500
18-30	0,04-0,093	0,06-0,13	0,14-0,28
31-50	0,05-0,112	0,075-0,16	0,17-0,34
51-80	0,065-0,135	0,096-0,195	0,2-0,4
81-120	0,08-0,16	0,12-0,235	0,23-0,46
121-180	0,1-0,195	0,15-0,285	0,26-0,53
181-260	0,12-0,225	0,18-0,3	0,3-0,6
261-360	0,14-0,25	0,21-0,38	0,34-0,68
361-600	0,17-0,305	0,25-0,44	0,38-0,76

2.7. П, К. Проверка работы электродвигателя на холостом ходу или с ненагруженным механизмом

Проводится у электродвигателей напряжением 3 кВ и выше. Значение тока ХХ для вновь вводимых электродвигателей не нормируется.

Значение тока ХХ после капитального ремонта электродвигателя, в том числе со сменой обмотки, измеренного при вводе в эксплуатацию, не должно отличаться больше, чем на 10 % от значения тока, измеренного при вводе в эксплуатацию, при одинаковом напряжении на выводах статора.

Продолжительность проверки электродвигателей должна быть не менее 1 ч.

2.8. П, К, Т. Измерение вибрации подшипников электродвигателя

Измерения проводятся у электродвигателей напряжением 3 кВ и выше, а также у электродвигателей ответственных механизмов.

Вертикальная и поперечная составляющая вибрации (средне-квадратичное значение виброскорости или размах вибросмещений), измеренное значение виброскорости или размах вибросмещений), измеренные на подшипниках электродвигателей, сочлененных с механизмами, не должны превышать значений, указанных в заводских инструкциях.

При отсутствии таких указаний в технической документации вибрация подшипников электродвигателей, сочлененных с механизмами, не должны быть выше значений представленных в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Синхронная частота вращения, об/мин	3000	1500	1000	750 и менее
Вибрация подшипников, мкм	30	60	80	95

Периодичность измерений вибрации узлов ответственных механизмов в межремонтный период должна быть установлена по графику, утвержденному главным инженером электростанции.

2.9. П, К. Измерение разбега ротора в осевом направлении

Измерение проводится у электродвигателей, имеющих подшипники скольжения.

Осовой разбег ротора двигателя, не соединенного с механизмом, зависит от конструкции двигателя, приводится в технической доку-

ментации на двигатель и должен составлять от 2 до 4 мм на сторону от нейтрального положения (если в инструкции по эксплуатации не оговорена другая норма), определяемого действием магнитного поля при вращении ротора в установившемся режиме и фиксированного меткой на валу.

Разбег ротора проверяется при капитальном ремонте у электродвигателей ответственных механизмов или в случае выемки ротора.

2.10. П, К. Проверка работы электродвигателя под нагрузкой

Проверка проводится при неизменной мощности, потребляемой электродвигателем из сети не менее 50% номинальной, и при соответствующей установившейся температуре обмоток. Проверяется тепловое и вибрационное состояние двигателя.

2.11. П, К. Гидравлическое испытание воздухоохладителя

Испытание проводится избыточным давлением 0,2-0,5 МПа в течение 5-10 мин, если отсутствуют другие указания завода-изготовителя.

2.12. К. Проверка исправностей стержней короткозамкнутых роторов

Проверка проводится у асинхронных электродвигателей при капитальных ремонтах осмотром вынутого ротора или специальными испытаниями, а в процессе эксплуатации по мере необходимости – по пульсациям рабочего или пускового тока статора.

2.13. Испытание возбuditелей

Испытание возбuditелей проводится у синхронных электродвигателей в соответствии с указаниями раздела 32 [1].

Исследование внутренних соединений машин переменного тока

В собранных электродвигателях как после монтажа, так и после ремонта неисправности в обмотке статора обычно выявляются при их включении на обкаточном стенде. Все отремонтированные двигатели должны иметь такое же обозначение (маркировку) выводов обмотки, как новые. Маркировка концов обмотки статора трехфазных асинхронных двигателей в соответствии с ГОСТ 183-74 приведена в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Маркировка концов обмоток статора трехфазных асинхронных двигателей

Схема соединений обмотки	Число выводов	Вид вывода	Обозначение вывода	
			Начало	Конец
Открытая	6	Первая фаза	C1	C4
		Вторая фаза	C2	C5
		Третья фаза	C3	C6
Соединение «звездой»	3 или 4	Первая фаза	C1	
		Вторая фаза	C2	
		Третья фаза	C3	
		Нулевая точка	0	
Соединение «треугольником»	3	Первый зажим	C1	
		Второй зажим	C2	
		Третий зажим	C3	

Обозначения выводов обмоток электрических машин наносят непосредственно на кабельных наконечниках, на шинных концах, на специальных обжимах, плотно закрепленных на проводах обмоток, или на вводной колодке рядом с выводами. В малых электрических машинах, где буквенные обозначения выводов наносить трудно, применяют обозначение выводов разноцветными проводами. Цвета проводов выводов приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Цвет провода выводов для трехфазных асинхронных электрических машин

Схема соединений обмотки	Число выводов	Вид вывода	Цвет провода	
			Начало	Конец
Открытая	6	Первая фаза	Желтый	Желтый с черным
		Вторая фаза	Зеленый	Зеленый с черным
		Третья фаза	Красный	Красный с черным
Соединение «звездой»	3 или 4	Первая фаза	Желтый	—
		Вторая фаза	Зеленый	—
		Третья фаза	Красный	—
		Нулевая точка	Черный	—
Соединение «треугольником»	3	Первый вывод	Желтый	—
		Второй вывод	Зеленый	—
		Третий вывод	Красный	—

При отсутствии обозначений выводов обмоток или при их неправильном соединении и обозначении начала и концы обмоток могут быть определены индукционным методом по рис. 2.1.

В одну из фазных обмоток (рис. 2.1, *а*, *б*) включается источник постоянного тока, реостат *RR* и кнопка *SB*. Две другие обмотки соединяются последовательно, и к ним подключается милливольтметр.

Если оказалось, что обмотки соединены разноименными выводами (начало 1 с концом 2 или конец 1 с началом 2, рис. 2.1, *а*), то при замыкании и размыкании кнопки *SB* индукционные токи вызовут резкие отклонения стрелки милливольтметра.

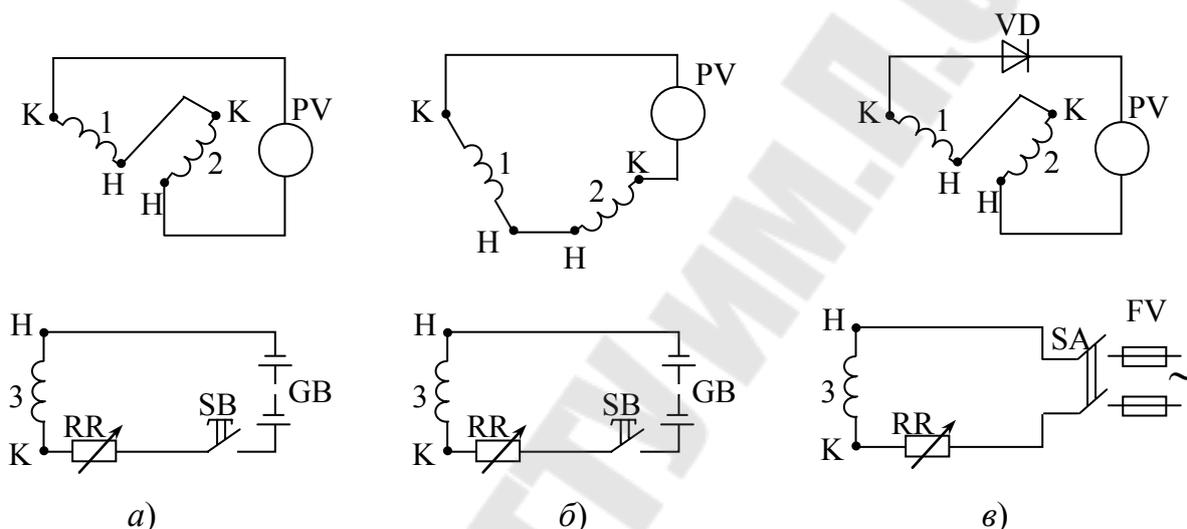


Рис. 2.1. Определение неправильных соединений в обмотке трехфазного статора: *а*, *б* – на постоянном токе, *в* – на переменном токе

Если же обмотки соединены одноименными выводами (начало 1 с началом 2 или конец 1 с концом 2) (рис. 2.1, *б*), то при включении и выключении кнопки *SB* стрелка милливольтметра останется неподвижной, так как индуцируемые в обмотках (1 и 2) напряжения окажутся приложенными навстречу друг другу и, следовательно, индукционный ток равен нулю.

Затем обмотку, включенную на милливольтметр, заменяют одной из обмоток, включенных под напряжение, и аналогичным способом находят, какой ее вывод является одноименным с ранее определенным. После чего производят маркировку обмоток.

На рис. 2.1, *в* приведена аналогичная схема, но с питанием от сети переменного тока. Индуктором служит тот же милливольтметр, последовательно с которым включен выпрямительный элемент *VD*.

Описание стенда

При испытаниях обмоток нельзя допускать их перегрева, поэтому испытывают обмотки при напряжении 10-15 % от номинального. Для этой цели используется лабораторный автотрансформатор.

В качестве индикатора вместо милливольтметра используется обычная лампа накаливания на соответствующее напряжение. Загорание лампочки при переключении SA в положение 1 (рис. 2.2) свидетельствует о правильном соединении обмоток. Если при включении SA лампочка не загорается, то это свидетельствует о встречном соединении обмоток.

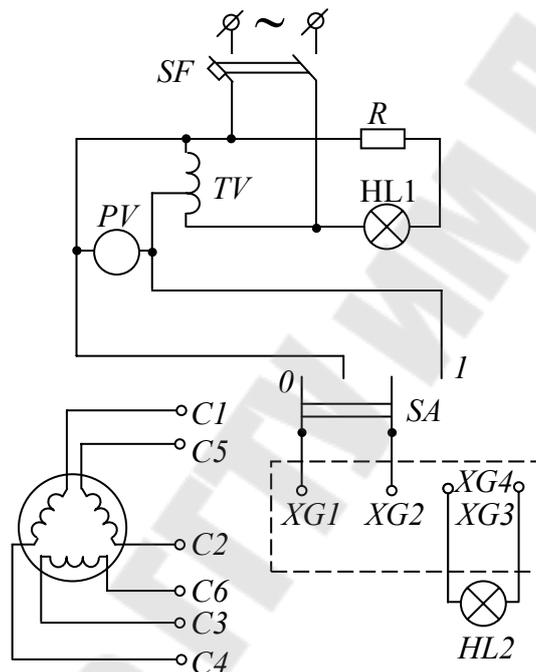


Рис. 2.2. Электрическая схема для проведения работы

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему в соответствии с рис. 2.2.
2. Убедиться, что рукоятка лабораторного автотрансформатора выведена до отказа.
3. Проверить установку переключателя SA в положении 0.
4. Установить перемычки по вариантам табл. 2.9.
5. Включить автомат SF , при этом загорается лампа $HL1$, свидетельствующая о наличии напряжения в сети.
6. Установить с помощью лабораторного автотрансформатора TV на вольтметре PV необходимое напряжение (10-15 % от номинального напряжения двигателя).

7. Включить переключатель в положение 1. Если при этом загорится лампочка *HL2*, значит, проверяемые обмотки включены верно. Если лампа не загорится, то следует выключить переключатель *SA*, вывести «ЛАТР», выключить автомат *SF* и поменять концы исследуемых обмоток. Затем повторить задание по п.п. 1-7. Таким образом проверить правильность соединений и маркировку всех обмоток.

В табл. 2.9 приведены примерные варианты соединения выводов обмоток. Среди них имеются правильные и неправильные варианты соединения обмоток. Необходимо найти правильные варианты и результаты опыта занести в табл. 2.10.

Таблица 2.9

Примерные варианты соединения выводов обмоток

№ опыта	Варианты соединения
1	$C_1-XG_1, C_4-XG_2, C_3-C_5, C_2-XG_3, C_6-XG_4$
2	$C_1-XG_1, C_4-XG_2, C_2-C_6, C_5-XG_3, C_3-XG_4$
3	$C_1-XG_1, C_4-XG_2, C_5-C_6, C_2-XG_4, C_3-XG_3$
4	$C_2-XG_1, C_5-XG_2, C_1-C_6, C_3-XG_4, C_4-XG_3$
5	$C_2-XG_1, C_5-XG_2, C_4-C_6, C_1-XG_4, C_3-XG_3$
6	$C_2-XG_1, C_5-XG_2, C_1-C_3, C_4-XG_4, C_6-XG_3$
7	$C_6-XG_1, C_3-XG_2, C_1-C_5, C_2-XG_3, C_4-XG_4$
8	$C_6-XG_1, C_3-XG_2, C_1-C_2, C_5-XG_3, C_4-XG_4$
9	$C_6-XG_1, C_3-XG_2, C_4-C_5, C_1-XG_3, C_2-XG_4$

Таблица 2.10

Результаты опытов определения правильности соединения обмоток

№ опыта	Варианты соединения выводов обмоток по рис. 1 и табл. 9	Состояние лампы <i>HL2</i> (горит, не горит)	Заключение о правильности соединения обмоток

Правила техники безопасности

При выполнении данной лабораторной работы запрещается:

4. Включать стенд без разрешения преподавателя.
5. Вести монтаж схемы при включенном питании.
6. Использовать провода с поврежденной изоляцией.

Содержание отчета

1. Краткая методика постановки опытов.
2. Схемы проведенных опытов.
3. Результаты опытов
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как проводятся (схемы, порядок проведения эксперимента и правила ТБ):
 - 1.1. Измерение сопротивления изоляции;
 - 1.2. Решение вопроса о необходимости сушки;
 - 1.3. Испытание повышенным напряжением;
 - 1.4. Измерение сопротивления постоянному току;
 - 1.5. Измерение воздушного зазора между сталью ротора и статора;
 - 1.6. Проверка работы ЭД на холостом ходу;
 - 1.7. Измерение вибрации подшипников ЭД;
 - 1.8. Измерение температуры обмоток электродвигателя;
 - 1.9. Определение одноименных выводов;
2. Какие типы испытаний проводят при вводе в эксплуатацию электродвигателей.
3. Какие типы испытаний проводят при капитальном ремонте электродвигателей.
4. Какие типы испытаний проводят между ремонтами электродвигателей.
5. Какими методами измеряют сопротивление изоляции постоянному току.
6. Что такое коэффициент абсорбции?
7. Какими методами измеряют температуру обмоток.
8. Как должны соединяться концы и начала обмоток в схеме «звезда»?
9. Как должны соединяться обмотки в схеме «треугольник»?
10. Чем объясняется загорание лампочки при правильном соединении обмоток?
11. Как маркируются концы и начала обмоток в соответствии с ГОСТ?
12. В какой цвет окрашивают выводы проводов трехфазных асинхронных двигателей?

Литература

1. Нормы и объем испытаний электрооборудования белорусской энергосистемы.
2. Куценко Г.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт установок электроснабжения. – Мн.: Дизайн ПРО, 2006. – 472 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема: Фазировка кабелей

Цель: Ознакомиться с принципом фазировки кабелей и выполнить фазировку двух кабельных линий.

Теоретическая часть

Перед включением кабеля в работу производят его фазировку для проверки соответствия фаз кабеля фазам присоединяемого участка электроустановки. Проверка производится прозвонкой с помощью телефонных трубок или мегаомметра. Если на одном из концов кабеля прозваниваемая жила присоединяется к фазе А, то на другом конце она должна присоединяться к той же фазе. На основании проверки производится раскраска жил в соответствии с принятой раскраской на данной установке. После предварительной прозвонки перед включением кабельной линии в работу производится фазировка ее под напряжением. Для этого с одного конца на кабель подается рабочее напряжение, а с другого конца производится проверка соответствия фаз измерениям напряжений между одноименными и разноименными фазами. Фазировка производится с помощью вольтметров (до 380В) или вольтметров и трансформаторов напряжения (если фазироваемые напряжения более 380В). На напряжение 2-10 кВ фазировка может производиться с помощью специальных указателей напряжения. Фазироваемые напряжения во избежание ошибочных суждений должны иметь одинаковое значение (допускаются отклонения не более 10%). Измерения или проверка производится между всеми одноименными фазами, а также между каждой из них и двумя остальными, разноименными фазами. Схема измерений при фазировке силовых кабелей на напряжение до 1 кВ дана на рис. 3.1.

Для образования замкнутого электрического контура (в системах с изолированной нейтралью или при отсутствии нейтральной точки) перед проведением измерений необходимо соединить любую пару предполагаемых одноименных фаз с помощью разъединителя или временной перемычки. В случае четырехпроводной системы, в которой нейтраль заземлена, перемычка не требуется. Если при измерениях или проверке 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 оно имеется и примерно одинаково (рис. 2), то такой кабель может быть включен на параллельную работу.

Описание стенда

Фотография лицевой панели стенда представлена на рис.3. Основные конструктивные элементы стенда:

- два кабеля, жилы которых выведены на лицевую панель стенда (клеммы 1-3 и 4-6 соответственно);
- вводной автомат, подающий напряжение на кабели;
- вольтметр для фазировки кабелей;
- два пакетных переключателя для изменения чередования фаз кабеля (задает преподаватель).

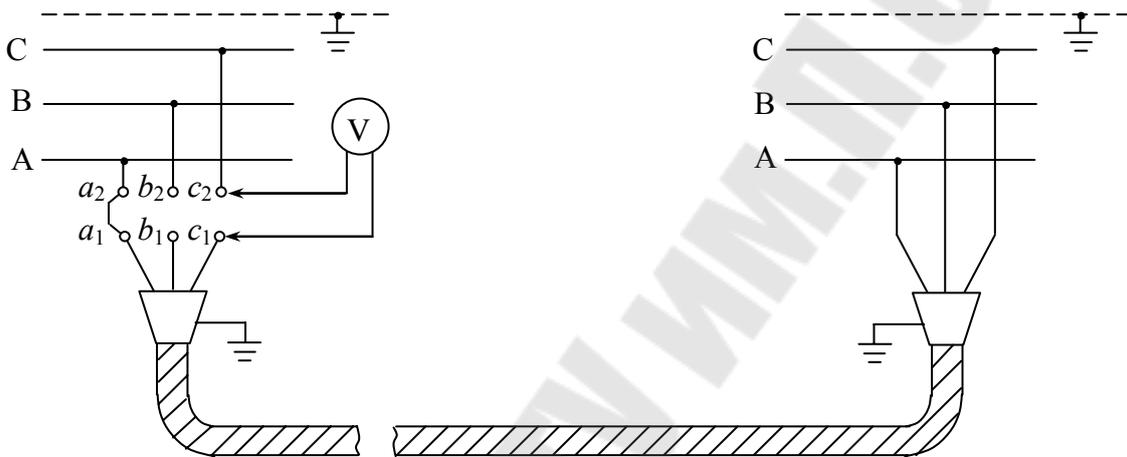


Рис. 3.1. Фазировка силовых кабелей

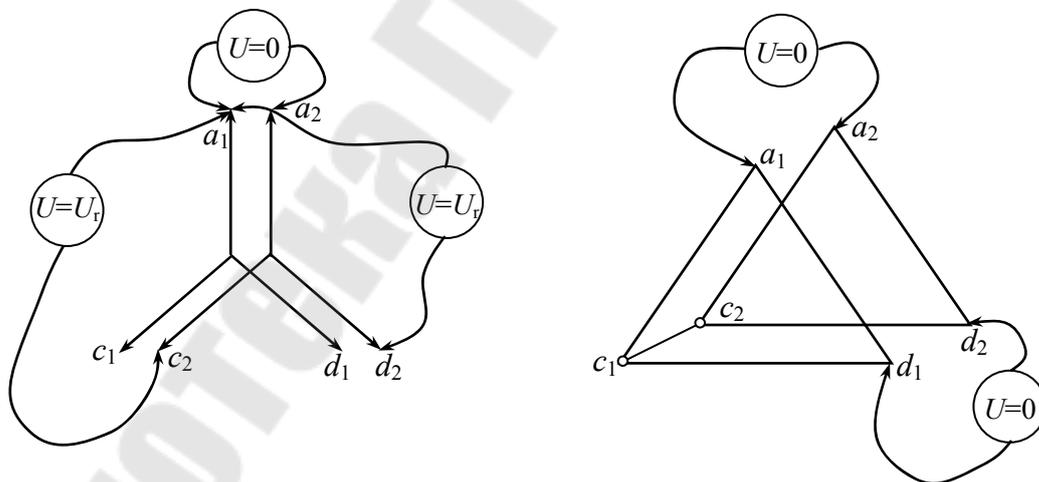


Рис. 3.2. Векторная диаграмма для нормального случая фазировки

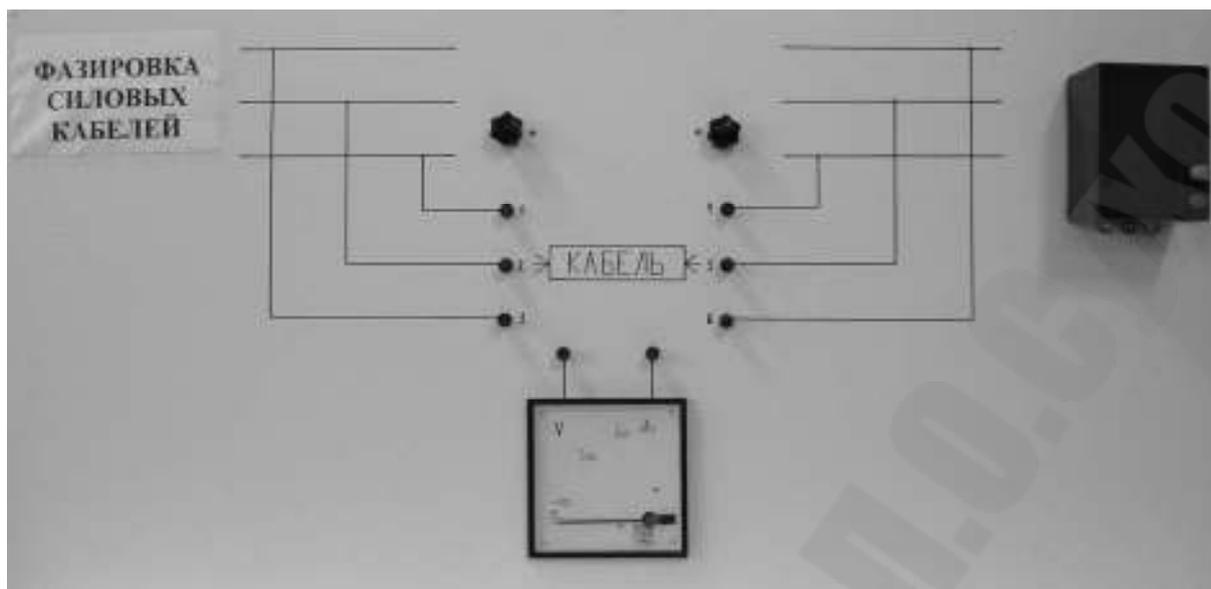


Рис. 3.3. Фото лицевой панели стенда

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с правилами техники безопасности при выполнении работы.
2. Объяснить преподавателю порядок выполнения работы – фазировки.
3. Включить стенд в розетку. Подать напряжение на стенд с помощью автоматического выключателя.
4. Провести фазировку кабельных линий (т.е. определить одноименные фазы) с помощью вольтметра. При выполнении фазировки устанавливать перемычку между предполагаемыми одноименными фазами не надо!
5. В соответствии с найденными одноименными фазами соединить кабельные линии на параллельную работу.
6. Включить стенд и удостовериться в правильности фазировки.

Правила техники безопасности

При выполнении данной лабораторной работы **запрещается**:

7. Включать стенд без разрешения преподавателя.
8. Вести монтаж схемы (подключение вольтметра, присоединение проводов и т.п.) при включенном питании.
9. Переключать ручки пакетных переключателей после фазировки кабельных линий, так как это может привести к изменению чередования фаз и короткому замыканию при включении стенда.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема лабораторной установки и её краткое описание.
3. Описание эксперимента.
4. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое фазировка?
2. В чем отличие фазировки кабелей в системе с заземленной нейтралью и с изолированной нейтралью?
3. В каком случае нет необходимости в соединении предполагаемых одноименных фаз с помощью перемычки?
4. Чему будут равны показания вольтметра (рис. 3.1) при фазировке кабельной линии на напряжении 380 В если соединить перемычкой разноименные фазы?
5. Чему будут равны показания вольтметра (рис. 3.1) при фазировке кабельной линии на напряжении 380 В если соединить перемычкой одноименные фазы?
6. С помощью каких технических средств проводится фазировка на различных напряжениях сети?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Тема: Поиск трассы кабельной линии

Цель: Познакомиться с методикой определения трассы кабельной линии, глубины залегания кабеля, места нахождения кабельных муфт и т.д.

Для определения трассы и глубина залегания кабеля, нахождения мест расположения муфт и непосредственного отыскания мест повреждения на трассе кабельной линии применяется **индукционный метод**. Сущность метода заключается в пропускании по кабелю тока звуковой частоты и фиксации характера изменения электромагнитного поля над кабелем с помощью приемного устройства. Наводимая в приемной антенне э.д.с. пропорциональна току в кабеле, числу витков и площади, охватываемой антенной. С увеличением частоты э.д.с. растет непропорционально вследствие экранирующего влияния брони и оболочки кабеля. Практически для индукционного метода применяется частота 800 – 1200 Гц.

При определении трассы кабеля следует учитывать, что наводимая э.д.с. зависит от токораспределения в кабеле и взаимного пространственного положения антенны и кабеля. Поэтому, зная характер изменения поля для данного токораспределения, можно при соответствующей ориентации антенны выявить трассу.

В общем случае электромагнитное поле над кабелем может быть рассмотрено как результирующее от трех видов токораспределения, которые в различных сочетаниях соответствуют разным видам повреждений.

Поле одиночного тока (проводимости). Характерным является случай отыскания трассы кабеля по цепи жила – земля (рис. 4.1), т.е. когда влиянием обратного «провода» можно пренебречь. Это поле является плоскопараллельным и его магнитные силовые линии представляют собой концентрические окружности (рис. 4.2), центры которых совпадают с осью кабеля. Напряженность поля убывает обратно пропорционально расстоянию до оси кабеля.

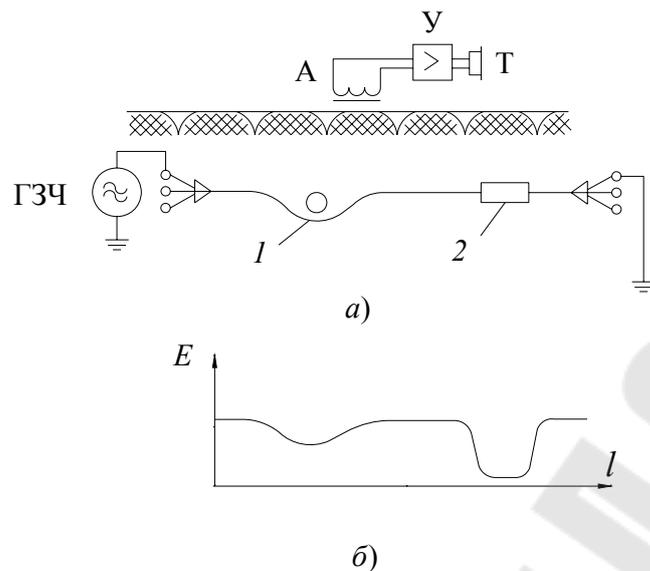


Рис. 4.1. Схема определения трассы кабеля индукционным методом от электромагнитного поля одиночного тока (а) и кривая изменения э.д.с. вдоль оси кабеля (б): 1 – более глубокая прокладка; 2 – кабель в трубе; ГЗЧ – генератор звуковой частоты; А – антенна; У – усилитель; Т – телефон

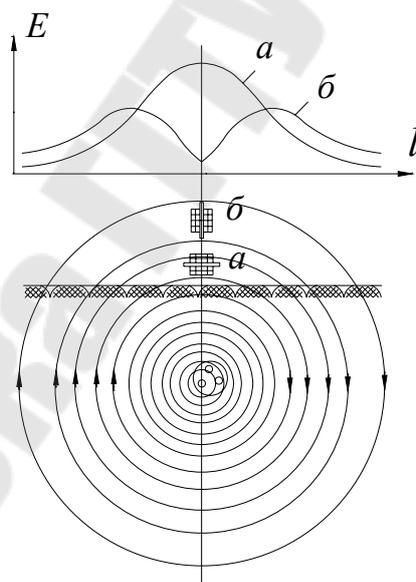


Рис. 4.2. Распределение магнитного поля при отыскании трассы кабеля и кривая изменения э.д.с. при перемещении антенны поперек оси кабеля

Поле пары токов (проводимости), равных по значению и противоположных по направлению. Поскольку прямой и обратный провода создают два concentric magnetic fields, действующих в противоположных направлениях, результирующее магнитное поле будет

иной конфигурации (рис. 4.3 и 4.4) и много меньше, чем поле одиночного тока. Напряженность магнитного поля пропорциональна расстоянию между жилами и обратно пропорциональна квадрату расстоянию от оси кабеля.

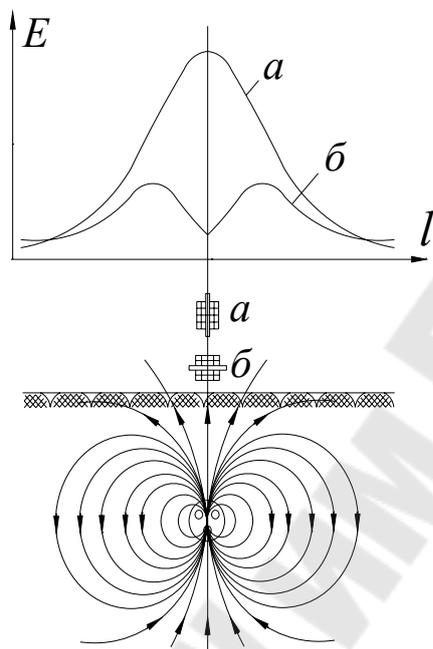


Рис. 4.3. Распределение магнитного поля при горизонтальном расположении жил и кривая изменения э.д.с. при перемещении антенны поперек оси кабеля

Поле распределенного емкостного тока (поляризация диэлектрика) соответствует случаю обрыва жилы кабеля. Это поле изменяется по очень сложному закону. При частоте около 1000 Гц влиянием поля от емкостного тока можно пренебречь.

Для определения трассы кабеля один вывод генератора звуковой частоты заземляется, второй присоединяется к неповрежденной жиле, заземленной на противоположном конце кабеля (рис. 4.1).

Отыскание трассы кабеля производится по минимуму или максимуму сигнала. При определении трассы по минимуму сигнала магнитную ось антенны располагают перпендикулярно поверхности земли. Когда антенна находится точно над осью кабеля, линии магнитного поля не пересекают витки антенны и э.д.с. равна нулю. При незначительном отклонении от оси кабеля появляется усиливающий сигнал (рис. 4.2. кривая б).

При определений трассы по максимуму сигнала магнитную ось антенны располагают горизонтально к поверхности земли.

Когда антенна будет находиться точно над осью кабеля, витки ее будут пересекаться максимальным магнитным потоком и наводимая э.д.с. будет наибольшей (рис. 4.2, кривая *а*). При перемещении антенны вдоль оси кабеля э.д.с. будет меняться только при изменении глубины залегания или из-за прокладки в трубах (рис. 4.1, *б*). При этом характер изменения сигнала при перемещении антенны поперек кабеля не изменится (рис. 4.2). На практике чаще используют способ определения трассы по минимуму сигнала, так как этот способ дает четкие результаты, независимо от глубины залегания кабеля.

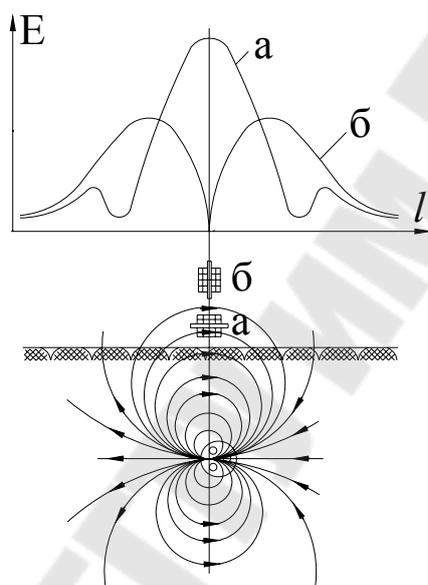


Рис. 4.4. Распределение магнитного поля при вертикальном расположении жил и кривая изменения э.д.с. при перемещении антенны поперек оси кабеля

При расположении оси антенны параллельно трассе кабеля наводимая э.д.с. равна нулю, а при нарушении параллельности появляется сигнал. Это используется для определения направления трассы кабеля.

Практически для определения трассы кабеля устанавливают ток генератора 0,5 – 5 А (в зависимости от глубины залегания) и, расположив ось антенны перпендикулярно поверхности земли, идут вдоль оси кабеля, периодически перемещая антенну поперек трассы кабеля для контроля правильности следования.

Для определения глубины залегания кабеля предварительно находится линия трассы кабеля, затем ось антенны располагают под углом 45° к вертикальной плоскости, проходящей через ось кабеля, и, перемещая антенну поперек оси кабеля, определяют линию отсутст-

вия э.д.с. Расстояние от этой линии до трассы кабеля равно глубине залегания кабеля.

Для определения нахождения соединительных муфт на трассе кабельной линии выводы генератора присоединяются к поврежденным жилам кабеля (рис. 4.5, а), либо на конце кабельной линии жилы закорачивают, а ось приемной антенны может быть ориентирована вертикально или горизонтально поперек оси кабеля и горизонтально вдоль оси кабеля. Во всех случаях при перемещении антенны точно над осью кабеля будут наблюдаться периодические усиления и ослабления э.д.с., обусловленные скруткой жил кабеля с шагом 1 – 2,5 м.

Поскольку при подземной прокладке кабеля нельзя обеспечить четкую ориентацию антенны вдоль или поперек оси кабеля, то отыскание замыканий между жилами ведут при вертикальном расположении оси антенны. При этом горизонтальному расположению кабеля будут соответствовать наибольшие значения э.д.с. (антенна пронизывается наибольшим потоком), а вертикальному расположению – минимальные э.д.с.

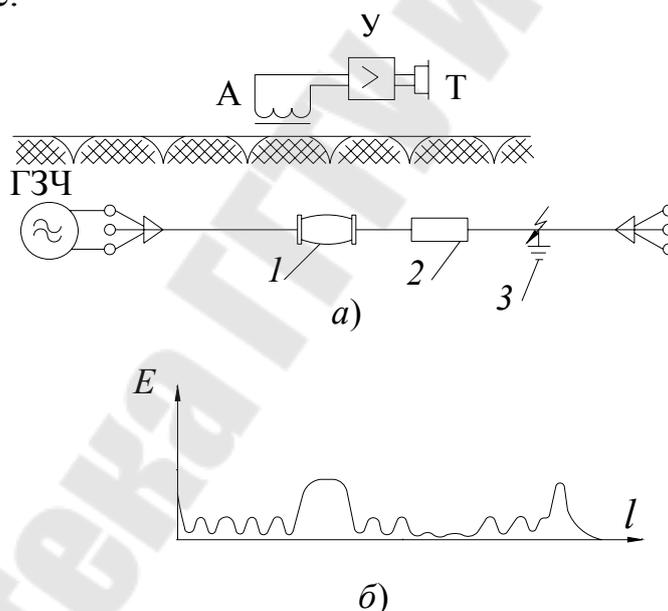


Рис. 4.5. Схема определения трассы кабеля индукционным методом от электромагнитного поля пары токов (а) и кривая изменения э.д.с. вдоль оси кабеля (б): 1 – муфта соединительная; 2 – кабель в трубе; 3 – место повреждения

При удалении антенны в сторону от оси кабеля будет наблюдаться уменьшение э.д.с., если над осью кабеля имелся максимум сигнала, и возрастание э.д.с., если над осью кабеля был минимум сигнала.

Кривые изменения э.д.с. при перемещении антенны поперек трассы кабеля и картины магнитных полей кабеля для горизонтального и вертикального расположения жил с током приведены на рис. 4.3 и 4.4.

Практически при перемещении антенны вдоль трассы кабеля будут обнаруживаться холмообразные пучности сигнала, расположенные на расстоянии половины шага скрутки кабеля (рис. 4.5, б). В местах расположения соединительных муфт вследствие разводки жил кабеля шаг скрутки исчезает и наблюдается резкое усиление сигнала. Последнее используется для находений муфт на трассе кабельной линии.

При прокладке кабеля в трубе или при заглублении трассы кабеля наблюдается сильное ослабление сигнала. В этих случаях проверяется наличие сигнала за участком минимальной слышимости или производится включение генератора с противоположного конца кабеля. Над местами повреждения сигнал, как правило, усиливается, что обусловлено переходом тока с жилы на жилу. За местом повреждения на расстоянии не более половины шага скрутки сигнал затухает. Чтобы не перепутать место повреждения и участки трассы с ослабленным сигналом, следует обратить внимание на концевой эффект, проявляющийся в усилении сигнала. В сомнительных случаях генератор включают поочередно с одного и другого конца кабеля. При наличии повреждения сигнал будет прекращаться в одном и том же месте. Поскольку э.д.с., антенны убывает пропорционально квадрату расстояния от оси кабеля для четкого определения места повреждения необходимо пропустить по жилам ток 5 – 25 А, а в отдельных случаях и больше.

Контрольные вопросы

1. Какой метод применяется для определения трассы кабеля?
2. Как производится поиск трассы кабельной линии по максимуму сигнала от поля одиночного тока?
3. Как производится поиск трассы кабельной линии по минимуму сигнала от поля одиночного тока?
4. Как определяется глубина залегания кабеля?
5. Чем обусловлено периодическое усиление и ослабление ЭДС от поля пары токов при перемещении приемной рамки вдоль кабельной линии?
6. Как определяется место нахождения кабельной муфты на трассе?
7. Что понимают под концевым эффектом?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Тема: Виды и методы сушки силовых трансформаторов

Цель: Изучить основные методы проведения сушки силовых трансформаторов, их достоинства и недостатки, а также область применения.

Вопрос о необходимости сушки трансформаторов перед включением решается в результате анализа комплекса параметров: состояния масла; сопротивления изоляции обмоток, коэффициента абсорбции, тангенса угла диэлектрических потерь обмоток, приращения $\Delta C/C$; состояния индикаторного силикагеля; соотношения C_2/C_{50} .

Виды сушки

Различают следующие виды сушки: контрольный прогрев, контрольная подсушка и сушка. Все они преследуют одну цель – привести изоляцию трансформатора в состояние, отвечающее требованиям и нормам. Бумажно-масляная изоляция в трансформаторах рассчитана на надежную работу лишь при условии ее высоких изоляционных свойств – сопротивления, электрической прочности, емкости и малых диэлектрических потерь. Эти факторы, прежде всего, зависят от степени увлажненности изоляции.

Термодинамический процесс сушки заключается в том, что изоляция нагревается и влага перемещается из ее внутренних пор к поверхности, а затем – в окружающую среду. Чем выше температура нагрева изоляции, тем больше разница между парциальными давлениями в ее соседних слоях и интенсивнее сушка. Поэтому изоляцию нагревают до температуры 100-105°C. В то же время эффективно снижать давление в окружающем пространстве, т.е. создавать вакуум.

Контрольный прогрев трансформаторов производится в одном из следующих случаев: характеристики изоляции не соответствуют нормам; продолжительность хранения трансформатора без доливки масла превышает установленный срок, но не более 7 мес.; время пребывания активной части на воздухе при слитом масле превышает нормы, но не более чем вдвое; присутствуют признаки увлажнения масла или значения $\Delta C/C$ (для трансформаторов, транспортируемых без масла) превышают нормативные.

Контрольная подсушка производится в следующих случаях: характеристика изоляции после контрольного прогрева не соответствует

нормам; отмечаются признаки увлажнения масла или нарушение герметичности изоляции.

Сушка производится в следующих случаях: на активной части или в баке обнаружены следы воды; трансформатор хранился без масла или без доливки масле более 1 года; индикаторный силикагель увлажнен, потерял голубой цвет; пребывание активной части на воздухе вдвое и более превышает установленные нормы; характеристики изоляции трансформатора после контрольной подсушки не соответствуют нормам.

Методы сушки

Сушка активной части может производиться следующими способами: в вакуум-сушильных шкафах или печах; в сушильных шкафах или печах без вакуума; в собственном баке вихревыми токами (индукционный способ); в собственном баке токами короткого замыкания; в собственном баке постоянным током; в собственном баке токами нулевой последовательности; в собственном баке сухим горячим маслом; в камере или собственном баке сухим горячим воздухом от тепловоздуховки.

Каждый из этих способов обеспечивает высококачественную сушку активной части. Однако затраты на оборудование, непосредственные энергетические затраты на нагревание, отвод излишков теплоты, циркуляцию и др. неодинаковы. Поэтому для каждого вида сушки применяют свои методы.

Контрольный прогрев производят с маслом без вакуума методом постоянного тока, короткого замыкания, индукционным, а также методом циркуляции нагретого масла.

Температура верхних слоев масла при контрольном прогреве не должна превышать 75°C и быть выше паспортной не более чем на 15°C при прогреве индукционным методом и методом циркуляции и не более чем на 5°C при прогреве методом постоянного тока или методом короткого замыкания. Контрольный прогрев заканчивается при температуре верхних слоев масла, превышающей на 5°C температуру, до которой производят прогрев. Контрольный прогрев методами постоянного тока и короткого замыкания запрещается проводить до получения положительных результатов следующих измерений: данных холостого хода при пониженном напряжении; сопротивления обмоток постоянному току и коэффициента трансформации при выбранном положении переключателей; сопротивления изоляции обмоток, а также в случае обнаружения каких-либо дефектов активной части.

Сушка методом постоянного тока. Для прогрева трансформатора постоянным током необходимо пропускать через его обмотки (обычно используют обмотки ВН и СН) ток, близкий к номинальному. Для равномерного прогрева желательно обеспечить последовательное или параллельное соединение всех трех фаз обмоток. Иногда применяют схемы с последовательным соединением обмоток только двух фаз или схемы, в которых две фазы соединены параллельно, а третья включена последовательно.

Напряжение, подводимое для прогрева к трансформатору, в зависимости от схемы соединения его обмоток составит, В:

– при параллельно соединении всех трехфазных обмоток

$$U_{\text{пр}} = I_{\text{max}} R_{\phi} k ;$$

– при двух фазах, соединенных параллельно и включенных последовательно третьей

$$U_{\text{пр}} = 2I_{\text{max}} R_{\phi} k ;$$

– при двух крайних фазах, включенных последовательно

$$U_{\text{пр}} = 3I_{\text{max}} R_{\phi} k ,$$

где I_{max} – максимальный фазный ток прогреваемой обмотки, А ; R_{ϕ} – сопротивление фазы обмотки при 15°C, Ом; $k = 0,8 - 0,9$ – коэффициент, учитывающий изменения сопротивления R_{ϕ} при нагреве.

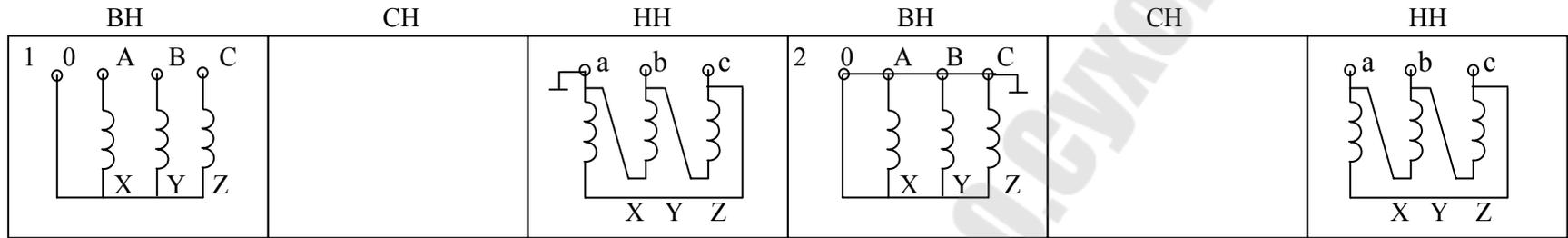
В начале прогрева до достижения температуры верхних слоев масла 40°C допускается прогрев током, равным 1,2 номинального. В процессе прогрева термосигнализаторами контролируется температура верхних слоев масла. Температуру прогреваемой обмотки определяют по ее омическому сопротивлению R_{Γ} (которое измеряют в процессе прогрева) с помощью соотношения

$$t_{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{R_x} (235 + t_x) - 235 ,$$

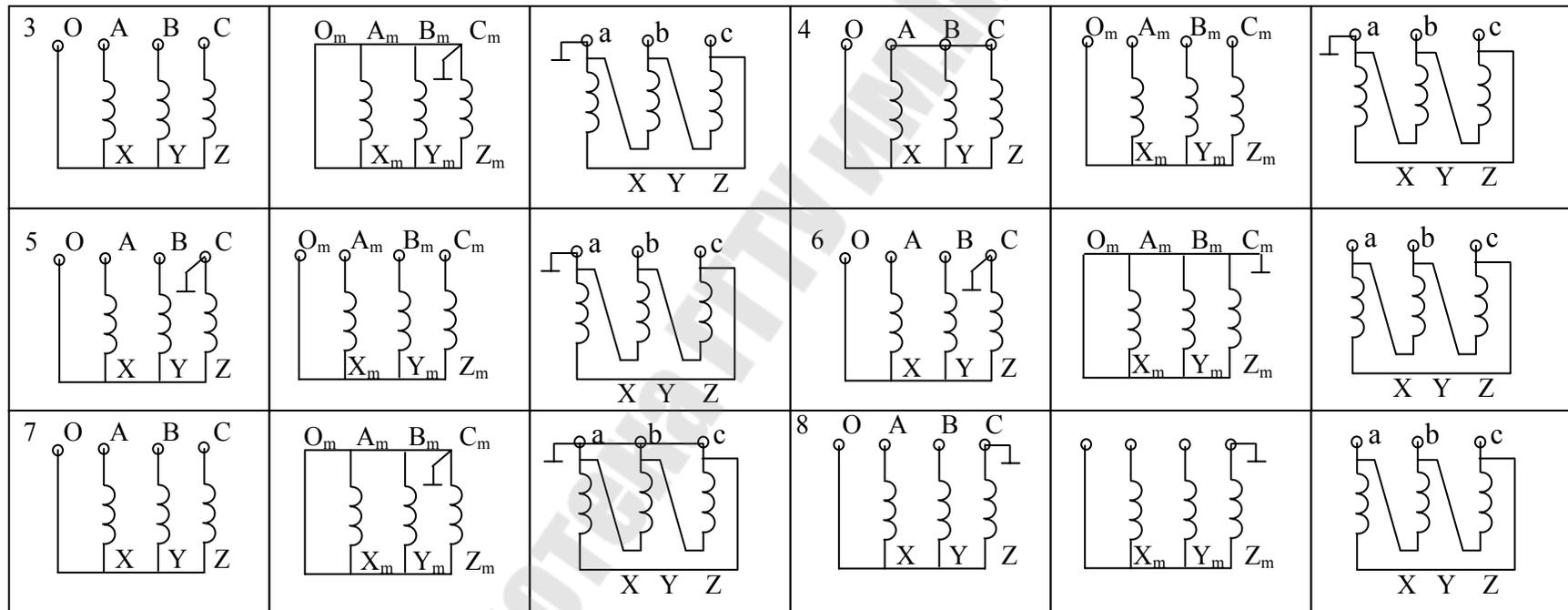
где R_x и t_x – сопротивление и температура обмотки, указанные в паспорте трансформатора.

Время нагрева составляет не менее 10 ч с момента включения трансформатора.

Сушка методом короткого замыкания. Для сушки токами короткого замыкания одну из обмоток замыкают накоротко а на другую подают напряжение короткого замыкания, определяемое по паспортным данным трансформатора. Схемы включения обмоток трехфазных трансформаторов при этом методе прогрева приведены на рис. 5.1.



a)



б)

Рис. 5.1. схемы включения обмоток трехфазных трансформаторов при сушке методом короткого замыкания:
 а – двухобмоточные трансформаторы (1-2); б – трехобмоточные трансформаторы (3-8)

Мощность для прогрева $P_{\text{пр}}$, кВт, трехфазных трансформаторов определяется:

– при потерях короткого замыкания $P_{\text{к}}$ менее 500 кВт и температуре обмоток 75°C

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{к}}}{3};$$

– при потерях короткого замыкания $P_{\text{к}}$ более 500 кВт

$$P_{\text{пр}} = 0,49 \cdot P_{\text{к}}.$$

Если мощности обмоток, участвующих в прогреве, равны или не равны и питание подается на обмотку меньшей мощности, то ток прогрева определяют по формуле

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{ном}} \sqrt{\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{к}}}},$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный линейный ток питаемой обмотки, А.

Если мощности обмоток не равны и питание подается на обмотку большей мощности, то ток прогрева определяют по формуле:

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{ном}} \sqrt{\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{к}}} \frac{P_{2\text{ном}}}{P_{1\text{ном}}}},$$

где $P_{1\text{ном}}$ – номинальная мощность (большая) питаемой обмотки, кВА;
 $P_{2\text{ном}}$ – номинальная мощность (меньшая) обмотки, замкнутой накоротко, кВА.

При этом должно соблюдаться соотношение

$$I_{\text{пр}} \leq 0,7 I_{\text{ном}}.$$

Напряжение прогрева трансформатора, когда мощности обмоток равны или не равны, а питание подается на обмотку большей мощности, определяют по формуле:

$$U_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{к}} U_{\text{ном}}}{100} \cdot \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{ном}}},$$

где $U_{\text{к}}$ – напряжение КЗ пары обмоток, участвующих в прогреве, %;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение питаемой обмотки, кВ.

Если мощности обмоток, участвующих в прогреве, не равны и питание подается на обмотку меньшей мощности, то напряжение прогрева определяют по формуле:

$$U_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{к}} U_{\text{ном}}}{100} \cdot \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{ном}}} \cdot \frac{P_{2\text{ном}}}{P_{1\text{ном}}}.$$

Прогрев методом короткого замыкания (как и прогрев постоянным током) запрещается производить в случае обнаружения неисправностей, указанных выше.

Сушка методом циркуляции нагретого масла. Допускается использовать для сушки активной части трансформатора на месте его установки (без демонтажа) и с отключением от сети.

Бак трансформатора соединяют двумя маслопроводами (всасывающим и нагнетающим) с системой принудительной циркуляции масла. В систему включают маслонагреватель, фильтры и масляный насос. Схема сушки может быть незамкнутой, когда увлажнившееся масло, поглотившее из изоляции влагу, не используют, а заменяют постепенно сухим горячим маслом до полного высушивания изоляции.

При незамкнутой схеме качество сушки выше, но требуется большое количество масла (примерно десятикратное от количества масла в баке). При замкнутой схеме масло не успевает достаточно просохнуть и попадает в бак трансформатора менее гигроскопичным, чем свежее, поэтому сушка продолжается дольше. Существует также опасность, что масло в замкнутой системе придет в полную негодность, его остатки попадут в каналы обмоток и магнитопровода, и будут способствовать быстрому ухудшению вновь залитого свежего масла. Этот способ сушки особо пожароопасен и рекомендуется к применению лишь в исключительных случаях, когда возможность использования других методов сушки отсутствует.

Контрольная подсушка отличается от контрольного прогрева тем, что она производится с применением вакуума 46,5 кПа (350 мм рт.ст.) при температуре верхних слоев масла, равной 80°C.

Контрольная подсушка производится в том случае, если в результате контрольного прогрева характеристики изоляции не соответствуют нормам. В процессе контрольной подсушки через каждые 12ч производят циркуляцию масла через трансформатор в течение 4ч.

Подсушку прекращают, когда характеристики изоляции приходят в соответствие с нормами, но не ранее чем через 36 ч после того, как температура верхних слоев масла достигает 80°C для трансформаторов мощностью до 80000 кВ·А. Схема контрольной подсушки приведена на рис. 5.2.

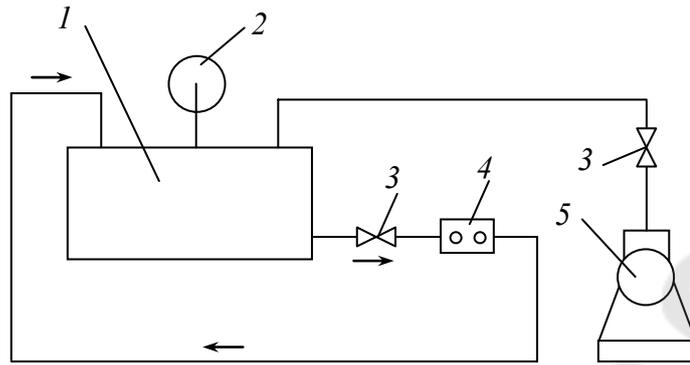


Рис. 5.2. Схема контрольной подсушки: 1 – бак трансформатора; 2 – вакуумметр (измеритель остаточного давления); 3 – кран; 4 – насос; 5 – вакуум-насос

Если в результате контрольной подсушки трансформатора в масле характеристики изоляции не будут соответствовать нормам, то трансформатор подлежит сушке.

Сушка трансформаторов. Сушка активной части при наличии стационарных сушильных печей, которые имеются на всех крупных электроремонтных предприятиях, может производиться как вакуумным, так и безвакуумным методами. При отсутствии печей сушку производят методом индукционных потерь в стали бака.

Сушка вакуумным методом осуществляется в вакуум-сушильных шкафах и обеспечивает быструю и высококачественную сушку с небольшими энергетическими затратами. Наиболее экономичным является паровой обогрев; менее экономичен электрообогрев.

Активную часть трансформатора загружают в печь. Предварительно для контроля сушки концы обмоток соединяют между собой проводником и выводят наружу через проходной изолятор. Сушку начинают с прогрева при вакууме 80-85 кПа, постепенно увеличивая до 95-105°C. Прогрев трансформаторов мощностью до 100 кВА продолжается в течение 3 ч, а большей мощностью – 5 ч. По окончании прогрева вакуум равномерно повышают и в течение 15 мин устанавливают остаточное давление около 40 кПа, которое выдерживают 1 ч. Затем в течение 15 мин вакуум повышают до максимально возможного и производят окончательную сушку.

В процессе сушки влагу из колонки конденсатора отбирают каждый час, ее количество и значение сопротивления изоляции записывают в журнал сушки. Когда в течение 3 ч подряд (по трем измерениям) выделения влаги из колонки не будет, а показания мегомметра будут соответствовать нормам, обогрев отключают.

Очень эффективным с точки зрения дальнейшей эксплуатации является непосредственная заливка активной части маслом в печи. В этом случае масло заполняет поры изоляции, которые прежде были заняты влагой. Продолжительность вакуумной сушки зависит от степени увлажненности изоляции обмоток, емкости печи, мощности вакуумных насосов и герметичности уплотнений и осуществляется в течение не менее 14 ч.

Достоинствами вакуумной сушки являются быстрота, высокое качество и стабильная технология, а недостатками – необходимость постоянно поддерживать в исправном состоянии сложное и дорогостоящее оборудование и связанные с этим высокие эксплуатационные расходы.

Безвакуумная сушка осуществляется в стационарных тупиковых печах с электрическим, паровым, индукционным или калориферным подогревом. Активную часть трансформатора на тележке вкатывают в печь и включают обогрев. Сушка продолжается дольше, чем в вакуумной печи. Критерием окончания сушки является сопротивление изоляции, которое должно иметь устойчивое нормативное значение в течение 3-4 ч. Измеряют сопротивление изоляции на трех изоляционных участках: обмотки ВН по отношению к обмоткам НН, присоединенным к корпусу; соединенных между собой обмоток ВН и НН по отношению к корпусу. Для возможных замеров все выводные концы обмоток ВН и концы обмоток НН соединяют между собой. От этих соединений, а также от ярмовых балок (корпуса) выводят наружу провода.

Контроль температуры в печи осуществляется термомпарами или другими термодатчиками. Для ускорения процесса в конце сушки рекомендуется проводить одну-две 20-минутные продувки печи теплым или окружающим сухим воздухом для удаления скопившихся в ней паров. При калориферном обогреве печей этого не требуется, так как в печи воздух постоянно циркулирует.

Сушка активной части в баке токами нулевой последовательности. Этот метод заключается в том, что к одной из обмоток трехфазного трансформатора подводят пониженное однофазное переменное напряжение и обмотки соединяют таким образом, чтобы возбуждаемые в стержнях магнитные потоки имели одинаковые значения и вызывают в них потери от вихревых токов, обеспечивающие нагрев. При этом способе сушки, как и при индукционном, теплота от металличе-

ских частей поступает через бумажную изоляцию к проводам, поэтому способ неэкономичен.

Для трансформаторов I-II габаритов со схемой соединения «звезда-звезда» и номинальными напряжениями 6300/230 В напряжение, подводимое к обмотке НН:

$$U = \frac{200}{\sqrt{P_{\text{НОМ}}}},$$

где $P_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА.

Необходимость подбора напряжения при других схемах соединения обмоток опытным путем, а также распайки обмоток при соединении одной из обмоток в треугольник или зигзаг относятся к существенным недостаткам данного метода. Поэтому область применения его крайне ограничена.

Сушка методом индукционных потерь в стали бака – самый распространенный способ сушки активных частей трансформаторов.

Бак трансформатора утепляют и обматывают намагничивающей обмоткой, которая может быть одно- (что вполне достаточно для трансформаторов I-II габаритов) или трехфазной. К обмотке подключают источник переменного тока от силовой сборки 220 или 280/220 В через двух- или трехполюсный автомат или рубильник. При прохождении тока по обмотке в стальных стенках бака возбуждается магнитный поток, который, замыкаясь по периметру бака, вызывает в нем вихревые токи, нагревающие бак. Теплота от бака передается активной части.

Предварительными расчетами по эмпирическим формулам определяют количество витков намагничивающей обмотки, в которой при сушке, в зависимости от фактической температуры, изменяют количество витков. Для этого намагничивающая обмотка может быть выполнена с одним-двумя регулировочными ответвлениями. Сушку активной части можно производить как с маслом так и без него. В зависимости от этого механизм сушки действует по-разному. Масло является теплоносителем и одновременно гигроскопичной средой, отбирающей влагу из изоляции. В масле целесообразно сушить активную часть с промасленными обмотками, т.е. при ремонте без замены обмоток. Новые обмотки сушат без масла.

Для ускорения сушки предусматривают принудительную циркуляцию воздуха в полости бака, для чего на одном из отверстий в крышке бака устанавливают периодически включаемый вытяжной вентилятор.

Температуру изоляции на разных высотах обмоток, верхнего и нижнего ярма, стенки бака и воздуха в верхней части бака контролируют термомпарами. Температура изоляции поддерживается в пределах 95-105°С, а стенок бака – 110-130°С. В начале сушки, после того как температура обмоток достигнет 85-100°С, в баке создают вакуум 27 кПа (200 мм рт.ст.) для удаления паров. В дальнейшем вакуум уменьшают и к окончанию сушки доводят до предельно допустимого для данной конструкции. Обычный диапазон рабочего вакуума 40-50 кПа.

В процессе сушки измеряются температура и сопротивление изоляции. В начале сушки измерения проводят каждые 4 ч, а ее окончанию – каждый час. Параметры записывают в журнал сушки.

Сушка заканчивается, когда значение сопротивления изоляции, соответствующее нормам, продолжает оставаться неизменным в течение 6 ч. После этого отключают индукционную обмотку, дают остыть активной части до 60-70°С, уплотняют все отверстия нижней части бака и заливают активную часть в баке сухим трансформаторным маслом.

Расчет параметров индукционной обмотки осуществляют следующим образом. Мощность индукционной обмотки осуществляют следующим образом. Мощность индукционной обмотки нагрева (кВт) определяют по формуле

$$P_{об} = \Delta p \cdot l \cdot h ,$$

где Δp – удельный расход мощности, кВт/м², определяемый по табл. 5.1;

l – периметр бака, м ;

h – высота бака, м.

Число витков намагничивающей обмотки при питании однофазным током частотой 50 Гц равно

$$\omega = \frac{AU}{l} ,$$

где A – коэффициент, определяемый по табл. 5.2;

U – напряжение питания обмотки намагничивания, В.

Таблица 5.1

**Зависимость удельного расхода мощности для прогрева
трансформатора от периметра**

Периметр бака трансформатора, м	До 10	От 11 до 15	От 16 до 20	От 21 до 26
Удельный расход мощности Δp , кВт/мм ²	До 1,8	От 2 до 2,8	От 2,9 до 3,6	От 3,7 до 4

Таблица 5.2

**Зависимость значения коэффициентов A от удельного расхода
мощности**

Удельный расход мощности Δp , кВт/мм ²	A	Удельный расход мощности Δp , кВт/мм ²	A	Удельный расход мощности Δp , кВт/мм ²	A
0,75	2,33	1,35	1,77	2,4	1,44
0,8	2,26	1,4	1,74	2,5	1,42
0,85	2,18	1,45	1,71	2,6	1,41
0,9	2,12	1,5	1,68	2,7	1,39
0,95	2,07	1,6	1,65	2,8	1,38
1,0	2,02	1,7	1,62	2,9	1,36
1,05	1,97	1,8	1,59	3,0	1,34
1,1	1,92	1,9	1,56	3,25	1,31
1,15	1,88	2,0	1,54	3,5	1,28
1,2	1,84	2,1	1,51	3,75	1,25
1,25	1,81	2,2	1,49	4,0	1,22
1,3	1,79	2,3	1,46	-	-

Ток в обмотке определяют по формуле

$$I = \frac{P_{об} \cdot 10^3}{U \cdot \cos\varphi},$$

где $\cos\varphi = 0,5 - 0,6$.

Сечение провода намагничивающей обмотки, мм²

$$S = \frac{I}{j},$$

где j – допустимая плотность тока, А/мм².

Для медных не изолированных проводов $j = 6$, для изолированных проводов $j = 3 - 3,5 \text{ А/мм}^2$; для алюминиевых неизолированных проводов $j=5$, для изолированных $j = 2 - 2,5 \text{ А/мм}^2$.

Контрольные вопросы

1. Назовите виды сушки трансформаторов.
2. Как решается вопрос о необходимости сушки трансформаторов?
3. В чем заключается термодинамический процесс сушки?
4. В каком случае проводится контрольный прогрев?
5. В каком случае проводится контрольная подсушка?
6. В каком случае проводится сушка трансформатора?
7. Назовите способы сушки трансформаторов.
8. Какими методами производят контрольный прогрев трансформатора?
9. Чем отличается контрольный прогрев от контрольной подсушки?
10. Какими методами проводится сушка трансформатора?

Для остановки двигателя требуется нажать кнопку SB1, в результате катушка пускателя KM1 потеряет питание и разомкнет свои силовые контакты в цепи питания двигателя М. Двигатель, потеряв питание, остановится.

Для того, чтобы запустить двигатель «влево», требуется, после остановки двигателя, нажать кнопку SB3.1. Схема работает аналогично.

Для защиты двигателя от перегрузки служит тепловое реле КК1, нагревательные элементы которого включаются в цепь питания двигателя, а блокировочный контакт в цепь питания катушек магнитных пускателей KM1 и KM2.

Описание стенда

Лабораторная установка включает в себя трехфазный асинхронный двигатель и коммутационно-защитную аппаратуру, закрепленную на щите: автоматический выключатель серии АЕ, два магнитных пускателя серии ПМЕ, тепловое реле и кнопочную станцию на три кнопки («стоп», «вправо», «влево»).

Порядок выполнения работы

1. Изучить работу схемы (осуществить пуск, реверс и остановку АД).
2. Преподаватель вносит в схему несколько неисправностей.
3. Провести наладку РКСУ (устранить неисправности).
4. Осуществить пуск, реверс и остановку двигателя.

Правила техники безопасности

При выполнении данной лабораторной работы **запрещается**:

1. Включать стенд без разрешения преподавателя.
2. Проводить работы по монтажу или наладке схемы при включенном стенде.
3. Дотрагиваться до вала двигателя при его вращении вплоть до полной остановки.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Релейно-контакторная схема управления пуском, реверсом и остановкой асинхронного двигателя.
3. Описание работы схемы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Тема: Измерение сопротивления изоляции обмоток электродвигателей

Цель: Научиться производить измерение сопротивления изоляции обмоток двигателя с помощью мегомметра и методом вольтметра.

Теоретическая часть

Применяемые для изоляции обмоток электрических машин изоляционные материалы не являются идеальными диэлектриками. В зависимости от своих физико-химических свойств они в большей или меньшей степени проводят по своей поверхности или через внутренние слои небольшой электрический ток.

Значение электрического сопротивления изоляции – один из важнейших показателей надежности работы электродвигателей. О сопротивлении изоляции судят по значению проходящего через нее постоянного тока. Использование постоянного напряжения связано и с тем, что при приложении переменного напряжения емкость, возникающая между разнородными металлами, из которых сделан электродвигатель и его обмотки, вызывает искажение показаний приборов.

Известно, что сопротивление изоляции измеряется в омах, но так как его значение очень велико, то его принято выражать в мегомах (миллионы Ом) или килоомах (тысячи Ом).

Если, например, между обмоткой электродвигателя и его корпусом действует электрическое напряжение 1 кВ и при этом проходит ток 0,001 А, то сопротивление изоляции

$$R_{\text{из}} = 1000 / 0,001 = 10^6 \text{ Ом} = 1 \text{ МОм}.$$

Нормы значения сопротивления изоляции при приемосдаточных испытаниях регламентированы ПУЭ.

Для машин постоянного тока сопротивление изоляции должно быть не ниже: между обмотками, а также каждой обмотки относительно корпуса – 0,5 МОм при температуре 10–30°C; бандажей якоря (кроме возбuditелей) – не нормируется; бандажей якоря возбuditеля – 1 МОм.

Для двигателей переменного тока напряжением до 1 кВ сопротивление изоляции должно соответствовать нормам, приведенным в табл. 7.1.

Таблица 7.1

**Допустимое сопротивление изоляции электродвигателей
переменного тока**

Испытуемый объект	Напряжение мегомметра, кВ	Сопротивление изоляции
Обмотка статора напряжением до 1 кВ	1	Не менее 0,5 МОм при температуре 10—30 °С
Обмотка ротора синхронного электродвигателя и электродвигателя с фазным ротором	0,5	Не менее 0,2 МОм при температуре 10—30 °С (допускается не ниже 2 кОм при 75 °С или 2 кОм при 20 °С для неявнополюсных машин)
Подшипники синхронных электродвигателей напряжением свыше 1 кВ	1	Не нормируется (измерение производится относительно фундаментной плиты при полностью собранных маслопроводах)

Сопротивление изоляции обмоток вновь вводимых в эксплуатацию электрических машин мощностью до 5 000 кВт на номинальное напряжение до 10,5 кВ должно соответствовать нормам, приведенным в табл. 7.2.

Таблица 7.2

**Допустимое сопротивление изоляции обмоток электродвигателей
мощностью до 5 000 кВт включительно**

Температура обмотки, °С	R ₆₀ , МОм, при номинальном напряжении машины, кВ		
	3–3,15	6–6,3	10–10,5
10	20	60	100
20	30	40	70
30	15	30	60
40	10	20	35
50	7	15	25
60	5	10	17
75	3	6	10

Для машин мощностью свыше 5 000 кВт, а также для машин на номинальное напряжение выше 10,5 кВ наименьшее сопротивление изоляции, измеренное при температуре 75°С, определяют по формуле

$$R_{60} = \frac{U_{\text{ном}}}{1000 + P_{\text{ном}} \cdot 0,01}, \quad (7.1)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное линейное напряжение, В;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность, кВт.

Если сопротивление изоляции, вычисленное по этой формуле, ниже 0,5 МОм, то наименьшее допустимое значение принимают 0,5 МОм. Для температур 10–75°C наименьшее значение сопротивления изоляции обмоток машины определяют, умножая значения, полученные по приведенной выше формуле, на температурный коэффициент k_T , значения которого даны в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Значения температурного коэффициента k_T

Температура, °С	k_T	Температура, °С	k_T
10	9,4	50	2,4
20	6,7	60	1,7
30	4,7	70	1,2
40	3,4	75	1

При измерении сопротивления изоляции обмоток электродвигателей с номинальным напряжением до 500 В включительно ГОСТ 11828-86 рекомендует применять мегомметр на 500 В, а для электродвигателей напряжением свыше 500 В – мегомметр на 1000 В. Ручку мегомметра рекомендуется вращать равномерно с частотой около 150 об/мин. Измерение следует проводить при установившемся положении стрелки по истечении 60 с после начала вращения ручки мегомметра.

Для электродвигателей, у которых выведены концы и начала всех фаз, измерение сопротивления изоляции производят между каждой фазой и корпусом. В этом случае допустимое минимальное сопротивление изоляции должно быть повышено в 3 раза. При измерении сопротивления изоляции каждой из электрических цепей все остальные цепи должны быть соединены с корпусом машины. По окончании измерения сопротивления изоляции каждой электрически независимой цепи следует разрядить ее на заземленный корпус электродвигателя.

Измерение сопротивления изоляции можно производить также методом вольтметра. Схема соединений при измерении сопротивления изоляции методом вольтметра при питании сетей переменным током приведена на рис. 7.1.

Измерительная схема получает питание от сети переменного тока (рис. 7.1), выпрямительный мост включен в сеть через трансформатор, отделяющий сеть переменного тока от цепи выпрямленного на-

пряжения, заземленный корпус электродвигателя присоединен к одному из зажимов выпрямительного моста.

Для получения большей точности измерений вольтметр имеет большое собственное сопротивление (30—50 МОм). Измерения производят на одном пределе вольтметра.

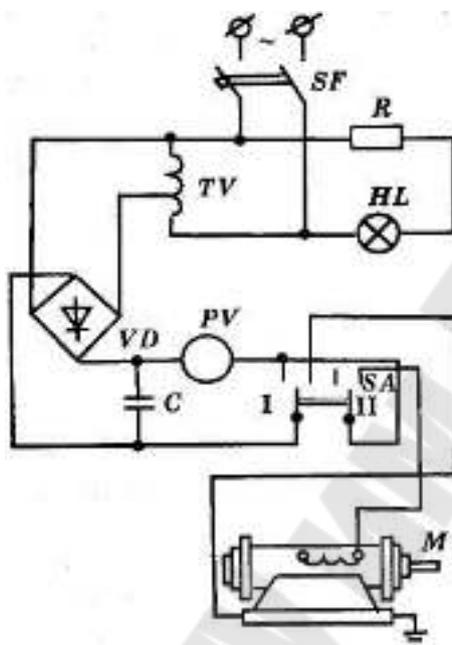


Рис. 7.1. Измерение сопротивления изоляции методом вольтметра от сети переменного тока

Метод вольтметра основан на известном в электротехнике положении: напряжения на последовательно соединенных сопротивлениях распределяются пропорционально этим сопротивлениям.

Ввиду того, что для проведения испытаний могут использоваться двигатели различных типов и номинальных параметров, для подачи номинальных напряжений можно используется лабораторный автотрансформатор.

Для проведения испытаний необходимо включить автоматический выключатель SF , при этом загорается сигнальная лампа HL , что свидетельствует о наличии напряжения на схеме. При установке переключателя SA в положение I вольтметром PV измеряется напряжение испытаний U_1 .

После перевода переключателя в положение II измеряется показание вольтметра U_2 , а падение напряжения в изоляции будет равно $U_1 - U_2$. Так как в положении II переключателя SA сопротивление вольтметра R_v (указанное на шкале вольтметра или приведенное в его

паспорте) и измеряемое сопротивление изоляции $R_{из}$ соединены последовательно, то падение напряжения в них распределяется прямо пропорционально значениям их сопротивлений:

$$R_B/R_{из} = U_2/(U_1 - U_2). \quad (7.2)$$

Откуда

$$R_{из} = R_B \cdot \frac{U_1 - U_2}{U_2} = R_B \cdot \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right) \cdot 10^{-6}. \quad (3)$$

Правила техники безопасности

При выполнении данной лабораторной работы **запрещается**:

1. Включать стенд без разрешения преподавателя.
2. Вести монтаж схемы при включенном питании.
3. Использовать провода с поврежденной изоляцией.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему по рис. 7.1 предварительно убедившись, что рукоятка лабораторного автотрансформатора выведена до отказа.
2. Включить автомат SF и убедиться в том, что на схему подано напряжение (загорание лампы HL).
3. Установить переключатель SA в положение I.
4. Поворотом рукоятки «ЛАТР» по часовой стрелке установить нужное напряжение (обычно номинальное напряжение двигателя) U_1 на вольтметре PV и записать значение U_1 .
5. Установить переключатель SA в положение II.
6. Записать установившееся значение напряжения U_2 на вольтметре.
7. Подсчитать сопротивления изоляции $R_{из}$ по формуле (3).
9. Провести измерения сопротивления изоляции с помощью мегомметра.
10. Сравнить результаты измерения изоляции двумя методами.
11. Составить отчет о работе.

Содержание отчета

1. Схема проведения опыта.
2. Результаты расчетов и эксперимента.
3. Вывод о пригодности изоляции.

Контрольные вопросы

1. Какие материалы применяются для изоляции обмоток электродвигателей?
2. Какие классы изоляции в основном применяют для обмотки электродвигателей и какова их предельно допустимая температура?
3. Каково минимально допустимое значение сопротивления изоляции для электродвигателей?
4. Перечислите меры безопасности при измерении сопротивления изоляции.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Проверка и испытание трансформаторов тока	3
Лабораторная работа № 2. Проверка и испытание электродвигателей переменного тока	16
Лабораторная работа № 3. Фазировка кабелей	28
Лабораторная работа № 4. Поиск трассы кабельной линии	32
Лабораторная работа № 5. Виды и методы сушки силовых трансформаторов	38
Лабораторная работа № 6. Наладка релейно-контакторной схемы управления пуском, реверсом и остановкой асинхронного двигателя	50
Лабораторная работа № 7. Измерение сопротивления изоляции обмоток электродвигателей	52

МОНТАЖ, НАЛАДКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

**Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-43 01 03
«Электроснабжение» дневной и заочной
форм обучения**

Составители: **Рудченко** Юрий Александрович
Парфенов Алексей Анатольевич

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного документа
учебно-методических материалов 21.01.09.

Рег. № 13Е.

E-mail: ic@gstu.gomel.by
<http://www.gstu.gomel.by>