

Областное государственное бюджетное профессиональное  
образовательное учреждение  
«Ульяновский техникум железнодорожного транспорта»

СБОРНИК МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ  
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

**МДК 01.03. Основы технического обслуживания и ремонта электрического  
и электромеханического оборудования**

технический профиль

13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и  
электромеханического оборудования (по отраслям)

ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Ульяновск, 2015

Разработчик: Мошин А.В. преподаватель ОГБПОУ «Ульяновский техникум железнодорожного транспорта»

Методические указания для выполнения практических работ, являются частью основной профессиональной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям) (базовой подготовки), входящей в состав укрупненной группы специальностей 13.00.00 Электро и теплоэнергетика в части освоения основного вида профессиональной деятельности (ВПД) Организация технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования в соответствии с требованиями ФГОС СПО третьего поколения.

Методические указания по выполнению практических работ адресованы студентам 3 курса очной формы обучения. МДК 01.02 и 01.03 следуют друг за другом и отражают задания по организации и проведения технического обслуживания электрического и электромеханического оборудования, а затем проведения испытаний и различных видов его ремонтов.

Методические указания включают в себя учебную цель, перечень образовательных результатов, заявленных во ФГОС СПО третьего поколения, задачи, обеспеченность занятия, краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме, вопросы для закрепления теоретического материала, задания для практической работы студентов и инструкцию по ее выполнению, методику анализа полученных результатов, порядок и образец отчета о проделанной работе.

	Оглавление	стр.
1	Практическая работа №1 «Обмотки машин переменного тока»	4
2	Практическая работа №2 «Дефектация машин переменного тока в процессе ремонта»	23
3	Практическая работа №3 «Дефектация трансформаторов при ремонте»	40
4	Практическая №4 «Испытания асинхронного двигателя с фазной обмоткой ротора после ремонта»	59
5	Практическая №5 «Испытания трехфазных силовых трансформаторов после ремонта»	75
6	Практическая работа №6 «Опытное определение номинальных данных асинхронного двигателя после ремонта»	104
7	Практическая работа №7 «Техническое обслуживание и текущий ремонт пускозащитной аппаратуры»	115

# Практическая работа №1

## ОБМОТКИ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** освоить методику составления схем внутрифазных соединений обмоток машин переменного тока.

**Задача лабораторной работы:** научиться составлять схемы обмоток асинхронных электродвигателей при подготовке данных на их капитальный ремонт.

### 1. ПРОГРАММА РАБОТЫ:

- 1.1. Изучить методику составления схем однослойных обмоток.
- 1.2. Изучить методику составления схем двухслойных обмоток.
- 1.3. Составить схему обмотки для макета по заданию преподавателя.
- 1.4. Собрать схему на макете и проверить наличие вращающегося магнитного поля.

### ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Однослойные обмотки машин переменного тока подразделяются на: концентрические, шаблонные и цепные.

Достоинством однослойных обмоток является: простота изготовления; более высокий коэффициент заполнения паза медью (по сравнению с двухслойными); меньший расход изоляционного материала.

Недостатком этих обмоток является то, что кривые магнитодвижущих сил содержат большой спектр высших гармоник, наибольшие по амплитуде, из которых пятая и седьмая, что отрицательно сказывается на пусковых характеристиках двигателя. Недостатком концентрических обмоток является необходимость изготовления катушек с различным шагом на различных шаблонах.

Характерным показателем каждой обмотки является “q”- число катушек в катушечной группе (число пазов на полюс и фазу). Этот показатель может быть определен из следующего выражения:

$$q = \frac{Z_1}{2pm}$$

где  $Z_1$  - число пазов статора;  $2p$  - число полюсов;  $m$  - число фаз ( $m=3$ ).

Другим характерным показателем каждой обмотки является - ширина полюсного деления обмотки, которая независимо от ее типа равна  $3q$  пазов или определяется из выражения:  $\phi = \frac{Z_1}{2p}$

Для получения вращающегося магнитного поля необходимо выполнить два условия: начала и концы фаз должны быть сдвинуты на 120 электрических градусов; на начала фазных обмоток (С1, С2, С3) необходимо подать трехфазное напряжение. При выполнении первого условия необходимо

знать, что  $q$  пазов содержит  $60$  электрических градусов (независимо от пазов статора и полюсов обмотки), поэтому начала фаз будут расположены через две фазные зоны (через  $2q$  пазов).

Например: начало первой фазы ( $C1$ ) находится в первом пазу, тогда номер паза, в котором находится начало второй фазы ( $C2$ ), рассчитывается по формуле:  $C2 = C1 + 2q$ . Аналогично для начала третьей фазы ( $C3$ ):  $C3 = C2 + 2q = C1 + 4q$ . Конец первой фазы ( $C4$ ) для обмоток с " $q$ ", меньшим или равным  $3$ , находится в пазу, номер которого определяется по формуле:  $C4 = (Z_1 - 3q) + 1$ . При  $q > 3$  -  $C4 = (Z_1 - 3q) + 0,5q + 1$ .

Как уже было отмечено, катушки одной катушечной группы у концентрических обмоток выполняются с различным шагом, например, при  $q=3$ ,  $Y1$ -первый частичный шаг меньшей катушки,  $Y2, Y3$ - первый частичный шаг средней и большей катушек, соответственно.

Первый частичный шаг - расстояние между разноименными сторонами одной катушки (рисунок 1.1).

Расчетный шаг обмотки  $Y_{ср}$ , определяющий величину обмоточного коэффициента, рассчитывается по формуле: 
$$Y_{ср} = \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{n}$$
 или 
$$Y_{ср} = \frac{Z}{P} \cdot \frac{1}{2p}$$
, где

$n$  - число катушек в катушечной группе. Например, для  $q=3$ : 
$$Y_{ср} = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3}{3}$$
.

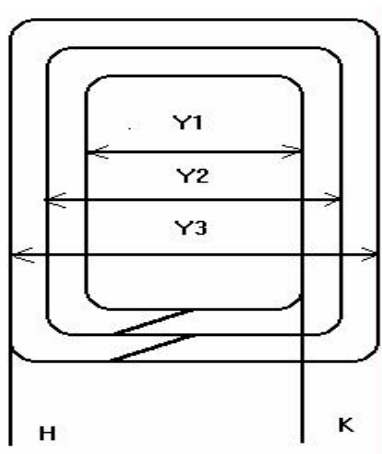


Рисунок 1.1 - Катушечная группа concentрической обмотки,  $q=3$

При числе катушек в катушечной группе более трех ( $q>3$ ) однослойные concentрические обмотки для уменьшения длины лобовых соединений и уменьшения расхода меди выполняются "вразвалку", т.е. катушечная группа делится на две полугруппы, которые укладываются в противоположные стороны (рисунок 1.2). На этом рисунке показан пример выполнения фазы однослойной concentрической обмотки "вразвалку".

Число катушечных групп на фазу "N" зависит от числа полюсов и числа катушек в катушечной группе. При "q" меньше или равном 3  $N=r$ ; при  $q>3$   $N=2r$ .

Для определения номера катушечных изобразим расточку статора в виде круга и разобьем его на "2pm" фазных зон (рисунок 1.3). Так как закон распределения фазных обмоток по фазным зонам постояен, то примем распределение фаз по фазным зонам - А, С, В, А, С, В, ... и т.д

Каждая фазная зона при "q", меньше или равном 3, занята одной катушечной группой (рисунок 1.3). При "q", меньше или равном 4, если обмотка выполняется "вразвалку" каждая фазная зона занята двумя катушечными группами.

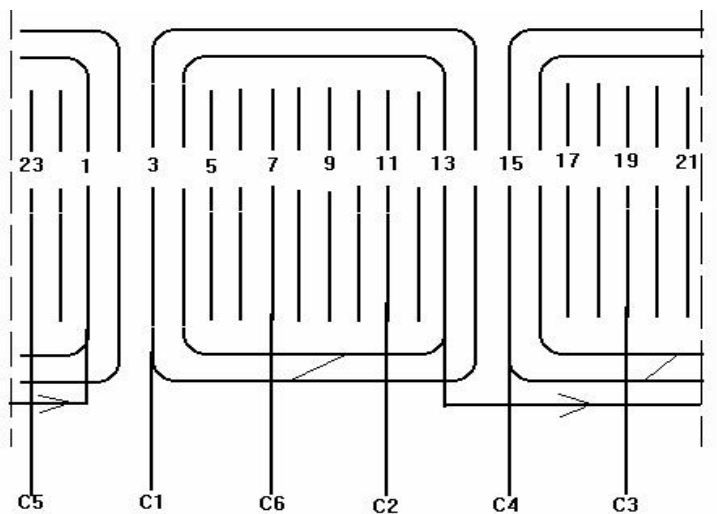


Рисунок 1.2 - Схема фазы А однослойной concentric обмотки "вразвалку"  $Z_1=24$ ,  $2p=4$ ,  $a=1$ ,  $q=4$

После распределения фаз по фазным зонам определяем, в каких фазных зонах лежат начала фаз. Первая фаза начинается в первой фазной зоне. Вторая фаза - через две фазные зоны (в третьей). Начало третьей фазы лежит через четыре фазные зоны (в пятой фазной зоне). Номеруются катушечные группы от катушечной группы, принятой за первую, обычно по часовой стрелке - 1, 2, 3 и т.д. (рисунок 1.3).

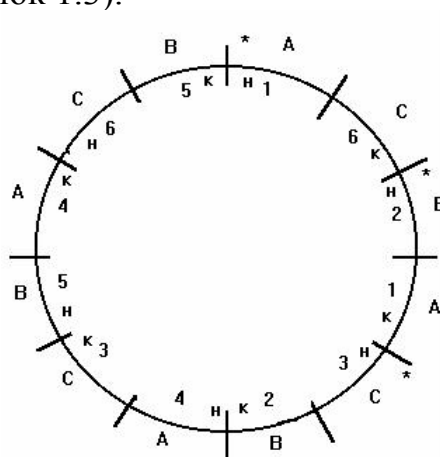


Рисунок 1.3 - Определение номеров катушечных групп

Таким образом, номера катушечных групп пофазно могут быть распределены следующим образом (таблица 1.1).

Катушечные группы, состоящие из "q" катушек, должны быть соединены в фазы так, чтобы обеспечить необходимое число полюсов и правильное их чередование. Т.е., если  $q > 3$ , то катушечные группы в фазах соединяются встречно (конец с концом, начало с началом), если q меньше или равно

3, то катушечные группы в фазах соединяются согласно (конец с началом).



Таблица 1.1 - Распределение номеров катушечных групп трехфазной одно-  
слойной обмотки

Число полюсов	Номера катушечных групп пофазно*
1	2
$2p=2, (q>3, \text{вразвалку})$	A - 1, 4; B - 3, 6; C - 5, 2
$2p=4, (q>3, \text{вразвалку})$	A - 1, 4, 7, 10; B - 3, 6, 9, 12; C - 5, 8, 11, 2.
$2p=4, (q=3)$	A - 1, 4; B - 3, 6; C - 5, 2 или A - 1, 4; C - 3, 6; B - 5, 2
$2p=6, (q=3)$	A - 1, 4, 7; B - 3, 6, 9; C - 5, 8, 2 или A - 1, 4, 7; C - 3, 6, 9; B - 5, 8, 2
$2p=8, (q=3)$	A - 1, 4, 7, 10; B - 3, 6, 9, 12; C - 5, 8, 11, 2 или A - 1, 4, 7, 10; C - 3, 6, 9, 12; B - 5, 8, 11, 2

Примечание. Номера катушечных групп указаны в порядке их укладки.

При большой установленной мощности двигателя для уменьшения сечения провода, которым выполняется обмотка, катушечные группы соединяют в несколько параллельных ветвей (рисунки 1.4 и 1.5). Возможное число параллельных ветвей "а" определяется требованием, по которому отношение  $2p/a$  должно выражаться целым числом.

Например:  $2p=2, a=1,2$ .  $2p=4, a=1,2,4$ .  $2p=6, a=1,3$ .  $2p=8, a=1,2,4$ .  $2p=12, a=1,2,3,4,6$  и т.д. или по порядку укладки катушечных групп.

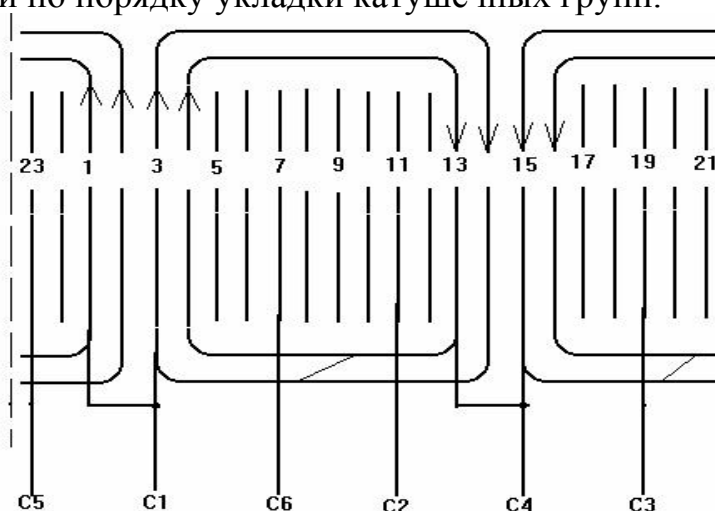


Рисунок 1.4 - Схема фазы А однослойной концентрической обмотки "вразвалку"  $Z_1=24, 2p=2, a=2, q=4$

Для примера рассмотрим выполнение обмотки на 24 паза предложенными двумя способами с числом полюсов  $2p=4$  и числом параллельных ветвей  $a=1$ .

ПРИМЕР:

1. Определяем число пазов на полюс и фазу (число катушек в катушечной группе)

$$q = \frac{Z_1}{2pm} = \frac{24}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 2.$$

2. Разбиваем пазы статора на фазные зоны, содержащие по "q" пазов, выделяя фазы А, В и С.

В технической литературе развернутые схемы обмоток чертятся в двух- или трехплоскостном изображении. Для удобства считывания развернутые схемы изображаются в одной плоскости (рисунки 1.2, 1.4, 1.5 и т.д.).

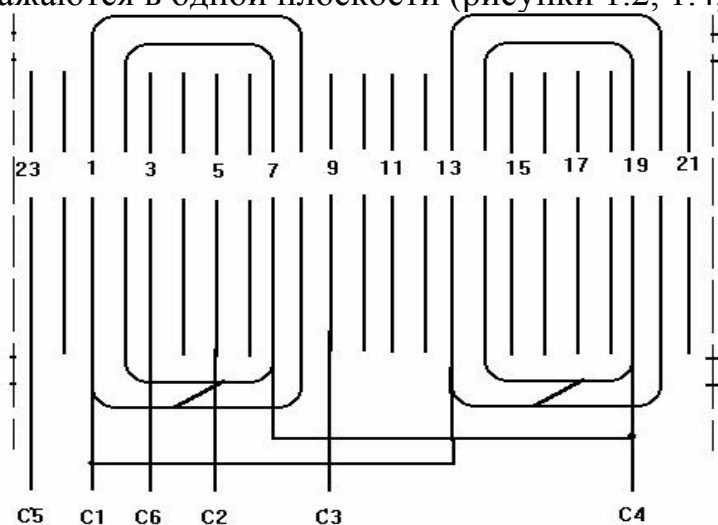


Рисунок 1.5 - Схема фазы А однослойной concentрической обмотки  $Z_1=24, 2p=4, a=2, q=4$

3. Покажем пофазные схемы обмоток (рисунки 1.6....1.8).

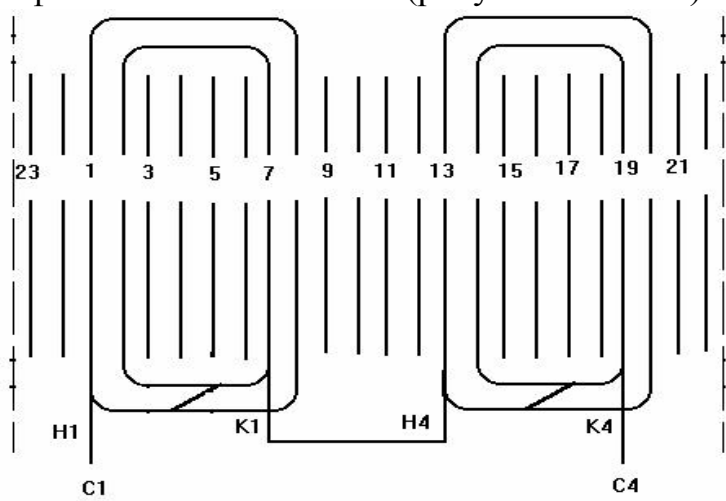


Рисунок 1.6 - Схема фазы А

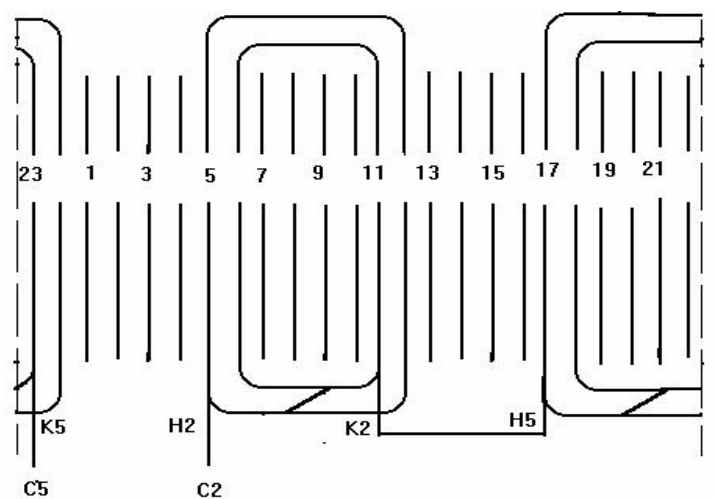


Рисунок 1.7 - Схема фазы В

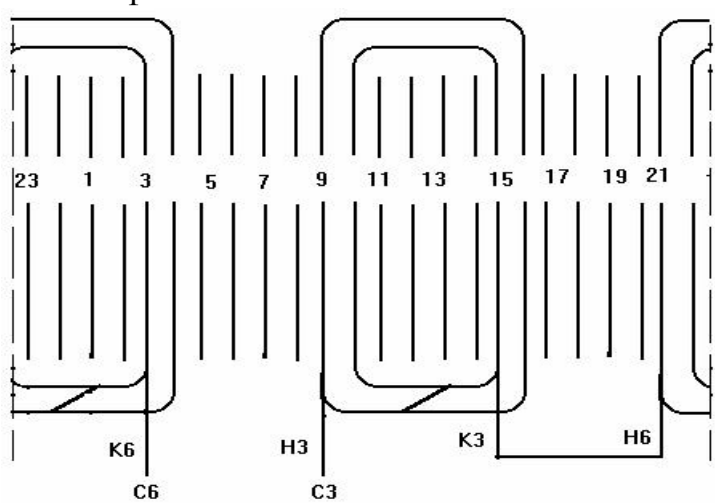


Рисунок 1.8 - Схема фазы С

4. Покажем развернутую схему обмотки (рисунок 1.9).

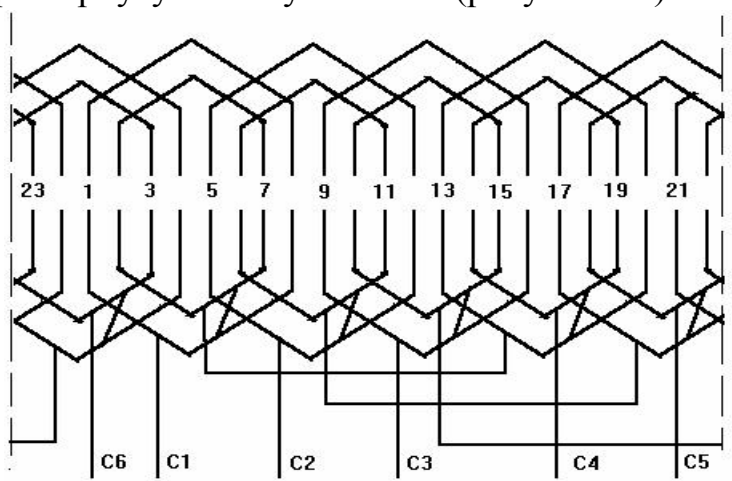


Рисунок 1.9 - Схема однослойной концентрической обмотки  $Z_1=24$ ,  $2p=4$ ,  $a=1$

Шаблонные обмотки отличаются от концентрических тем, что все катушки в группе выполняются с одинаковым шагом "Y" (рисунок 1.10), при  $q > 3$  они также выполняются "вразвалку".

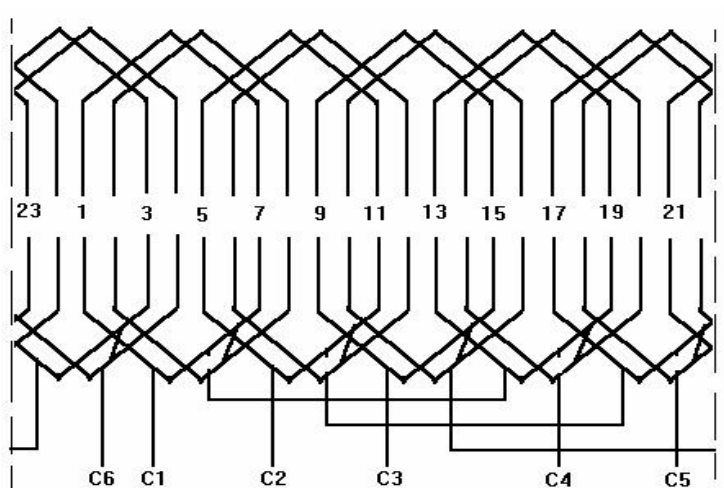


Рисунок 1.10 - Схема шаблонной обмотки  $Z=24, 2p=4, a=1$

Цепные обмотки отличаются от шаблонных и концентрических обмоток тем, что шаг "Y" всегда число нечетное. Они могут быть выполнены, как с диаметральной, так и с укороченным шагом.

**ПРИМЕР ЦЕПНОЙ ОБМОТКИ:**

1) Если  $Z_1=36, 2p=4$ , то  $Y \overset{Z_1}{\underset{2p}{\text{---}}} \frac{9}{4}$

Цепная обмотка может быть выполнена, как с диаметральной шагом 9, так и с укороченным шагом 7. На рисунках 1.11 и 1.12 приведены развернутые схемы цепных обмоток, выполненные, как с диаметральной, так и с укороченным шагом.

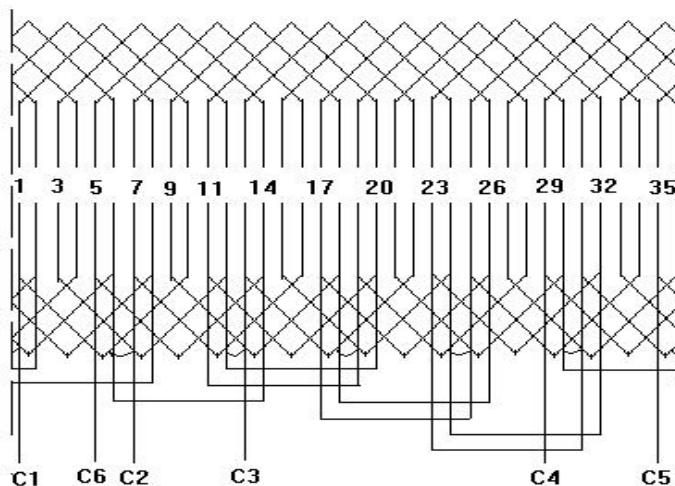


Рисунок 1.11 - Схема цепной обмотки  $Z_1=36, 2p=4, Y=9, a=1$

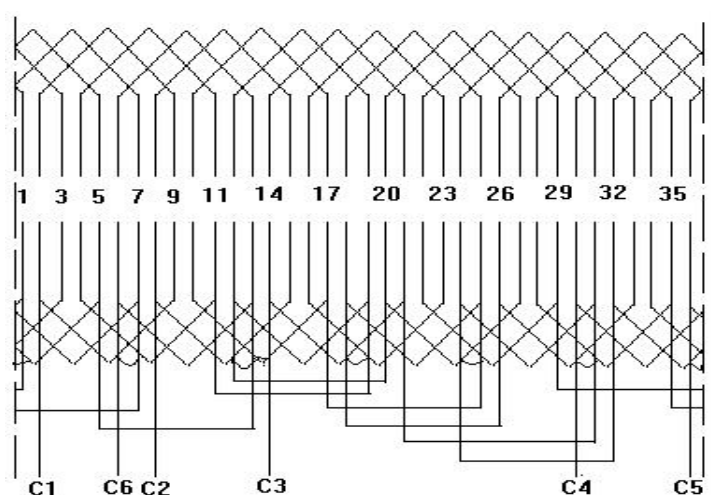


Рисунок 1.12 - Схема цепной обмотки  $Z_1=36, 2p=4, Y=7, a=1$

2) Если при расчете шаг обмотки получается четным, например, при  $Z_1=36, 2p=6, Y=6$ , то принимаем шаг обмотки, равный ближайшему меньшему нечетному числу. В нашем случае  $Y=5$ .

Двухслойные обмотки машин переменного тока. Наиболее распространенными статорными обмотками современных двигателей с высотами оси вращения более 160 мм являются двухслойные. По конструкции двухслойные обмотки подразделяются на петлевые, волновые и концентрические. Петлевые обмотки нашли применение в статорах асинхронных и синхронных машин, волновые - в качестве обмоток ротора. Концентрические обмотки в нашей стране из-за их сложности не используются. Двухслойные петлевые обмотки относятся к типу шаблонных и выполняются с укороченным шагом,

который рассчитывается по формуле  $Y = \frac{Z_1}{2p}$ , где  $Z_1$  - число пазов на статоре;  $2p$  - число полюсов обмотки;  $Y$  - степень укорочения, она определяется как:  $Y = \frac{\phi^{Z_1}}{\phi^{2p}}$ , где  $\phi^{Z_1}$  - ширина полюсного деления, которая изменяется от 0,6 до 0,8.

Для получения наибольшей электродвижущей силы (ЭДС) катушки при числе полюсов больше двух (т.е. при  $2p=4, 6, 8, \dots$ ), степень укорочения шага  $Y$  принимается равной 0,80. Для двухполюсных обмоток  $Y$  принимается в пределах от 0,56 до 0,75 [2,3]. При уменьшении шага обмотки на 20% ее ЭДС уменьшается всего на 5%, а экономия обмоточного провода при этом составляет от 10 до 15% [2]. Другим существенным преимуществом двухслойных петлевых обмоток с укороченным шагом перед другими типами обмоток, является уменьшение индуктивного сопротивления обмотки. Это благоприятно влияет на эксплуатационные характеристики двигателей.

Чтобы получить вращающееся магнитное поле в двигателях с двухслойными обмотками необходимо: начала фазных обмоток сместить в пространстве внутренней расточки статора на 120 электрических градусов; пропустить по ним электрический ток.

Первое условие можно выполнить, зная, что фазная зона, содержащая "q" пазов занимает 60 электрических градусов. Учитывая вышеизложенное, начала и концы фаз располагаются относительно друг друга через "2q" пазов, где "q" - число катушек в катушечной группе (число пазов на полюс и фазу).

Эта величина определяется по формуле  $q = \frac{Z_1}{2pm}$ , где m - число фаз обмотки.

Так как в каждую катушечную группу входит "q" катушек, включенных последовательно, то число катушечных групп m-фазной обмотки будет

равно:  $k \frac{Z_1}{q}$ . Отсюда видно, что на одну фазу приходится  $k \frac{Z_1}{\Phi qm}$  кату-

шечных групп, и можно записать, что  $k_{\Phi} = 2p$  т.е. число катушечных групп, приходящихся на одну фазу для двухслойных обмоток, равно числу полюсов обмотки, пример двухслойной обмотки приведен на рисунке 1.13. Таким образом, номера катушечных групп m-фазной обмотки распределяются по фазам, как показано в таблице 1.2. Номера катушечных групп указаны в порядке их укладки и соединяются в фазы так, чтобы получить требуемое число полюсов. Для двухслойных обмоток характерно встречное соединение катушечных групп (конец с концом, начало с началом и т.д.)

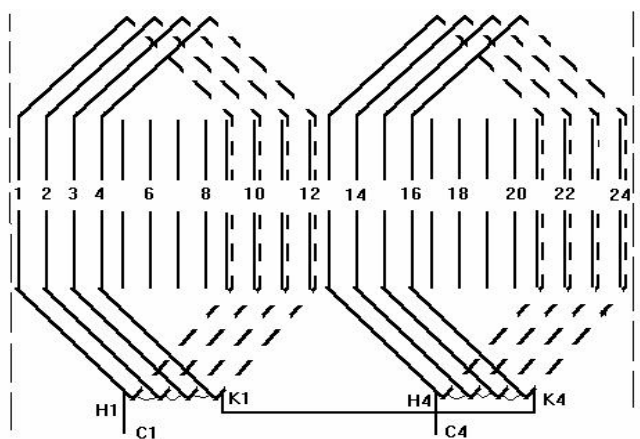


Рисунок 1.13 - Схема развернутой фазы А двухслойной петлевой обмотки  $Z = 24$ ,  $2p = 2$ ,  $a = 1$ ,  $y = 8$  (1-9)

Таблица 1.2 - Пофазное распределение катушечных групп двухслойных обмо-ток

Число полюсов и частота вращения, $n_1$ , об/мин	Номера катушечных групп
1	2
$2p=2$ , $n_1=3000$	A - 1; 4. B - 3; 6. C - 5; 2.
$2p=4$ , $n_1=1500$	A - 1; 4; 7; 10. B - 3; 6; 9; 12. C - 5; 8; 11; 2.
$2p=6$ , $n_1=1000$	A - 1; 4; 7; 10; 13; 16. B - 3; 6; 9; 12; 15; 18. C - 5; 8; 11; 14; 17; 2.
$2p=8$ , $n_1=750$	A - 1; 4; 7; 10; 13; 16; 19; 22.

	В - 3; 6; 9; 12; 15; 18; 21; 24. С - 5; 8; 11; 14; 17; 20; 23; 2.
$2p=10, n_1=600$ А -	1; 4; 7; 10; 13; 16; 19; 22; 25; 28. В - 3; 6; 9; 12; 15; 18; 21; 24; 27; 30. С - 5; 8; 11; 14; 17; 20; 23; 26; 29; 2.

Катушечные группы могут быть соединены в параллельные ветви. Их количество должно быть кратным числу пар полюсов обмотки "р". На рисунках 1.14 и 1.15 приведены схемы фазных обмоток, у которых катушечные группы соединены в 2 и 3 параллельные ветви, соответственно.

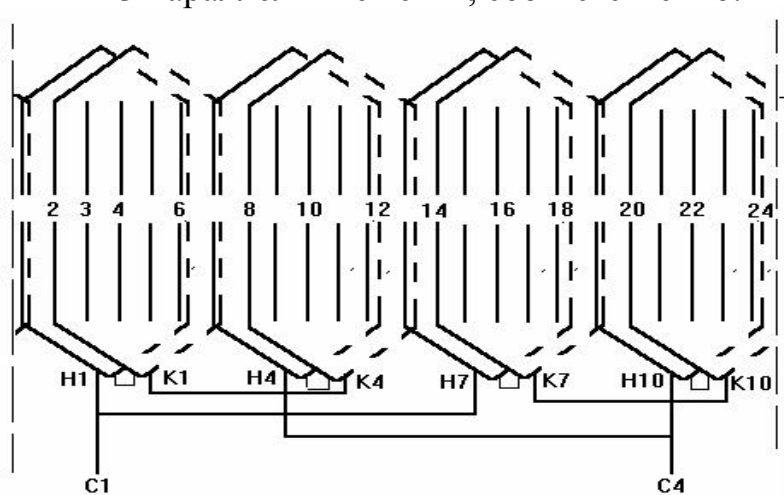


Рисунок 1.14 - Схема фазы А двухслойной обмотки с двумя параллельными ветвями,  $Z_1=24, 2p=4, Y=5(1-6')$

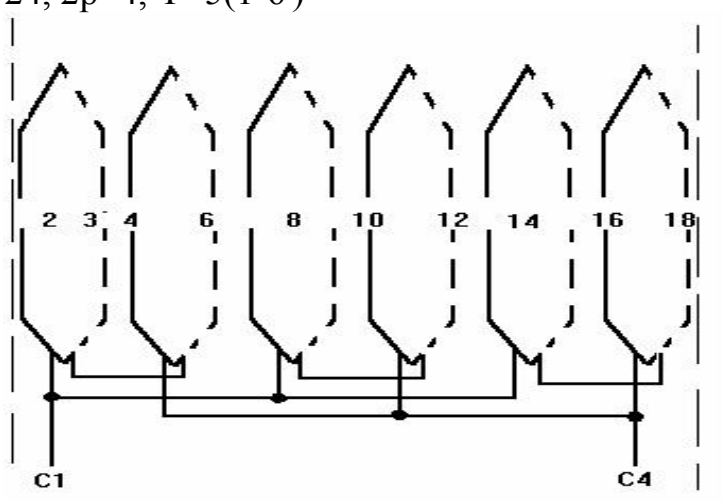


Рисунок 1.15 - Схема фазы А двухслойной обмотки с тремя параллельными ветвями,  $Z_1=18, 2p=6, Y=2(1-3')$

Двухслойные обмотки могут быть выполнены с дробным числом катушек в катушечных группах, при этом фаза формируется из больших и малых катушечных групп. Под большими, понимаются катушечные группы, выполненные с большим числом катушек. Рассмотрим порядок формирования фазы на примере обмотки с числом пазов на статоре  $Z=36$  и числом по-



люсов  $2p=10$ .

Рассчитаем число катушек в катушечной группе и представим ее в виде правильной дроби

$$q \frac{\frac{Z_1}{2p}}{m} = \frac{36}{10} \frac{1}{3 \cdot 5}$$

Обозначим целую часть дроби через " $b$ ", числитель дроби через " $c$ ", а знаменатель дроби через " $d$ ", т.е. правильная дробь имеет вид:  $b \frac{c}{d}$ . В нашем случае:  $b \frac{c}{d} = 3 \frac{6}{15}$

На фазу приходится " $2c$ " больших катушечных групп, содержащих по  $(b+1)$  катушки в группе, и " $2(d-c)$ " малых катушечных групп, содержащих по " $b$ " катушек в группе. Таким образом, на фазу получаем 2 катушечные группы, содержащие по 2 катушки в группе, и 8 катушечных групп, содержащих по одной катушке в группе. Для определения чередования больших и малых катушечных групп можно составить таблицу, имеющую " $c$ " строк и " $d$ " столбцов. Заполняют эту таблицу начинают с верхней строки первого столбца, записывая в клетку " $c$ " чисел, равных " $b+1$ ". Затем " $d-c$ " чисел, равных " $b$ ". Таким образом, заполняются все " $d$ " столбцов. Пример заполнения такой таблицы приведен на рисунке 1.16.

Номер строки	Номер столбца						
	1	2	3	4	5	6	7
	d	d	d	d	d	d	d
1 - C	b + 1	b	b + 1	b + 1	b	b + 1	b + 1
2 - C	b + 1	b	b + 1	b + 1	b + 1	b	b + 1
3 - C	b + 1	b + 1	b	b + 1	b + 1	b	b + 1
4 - C	b + 1	b + 1	b	b + 1	b + 1	b + 1	b
5 - C	b + 1	b + 1	b + 1	b	b + 1	b + 1	b

Рисунок 1.16 - Пример определения чередования больших и малых катушечных групп в фазе

В приведенном примере дробь имеет вид  $\frac{5}{7}$ . Чередование катушечных

групп в фазе можно выбрать по любой из "с" строк. В таблице показано чередование больших и малых катушечных групп для половины фазы, вторая половина фазы полностью повторяет первую.

Для приведенного выше примера, в котором правильная дробь имеет вид  $\frac{1}{5}$ , распределение больших и малых катушечных групп будет:  $v+1; v; v;$

$v; v; v+1; v; v; v; v$ ; т.е. 2; 1; 1; 1; 1; 2; 1; 1; 1; 1.

Для получения вращающегося поля необходимо, чтобы начала и концы фаз обмоток с дробным "q" были сдвинуты на 120 геометрических градусов, исключением являются обмотки с числом полюсов, кратным трем:  $2p=6, 12$  и т.д. Для этих обмоток начала и концы фаз сдвинуты на 120 электрических

градусов (через две фазные зоны).

НАПРИМЕР. Если для  $2p$ , не кратном 3, условно принять начало первой фазы "С1" в первом пазу, то номера пазов, в которых будут находиться начала второй и третьей фаз, можно определить из выражений:

$$C_2 = C_1 + \frac{Z_1}{3}$$

$$C_3 = C_1 + \frac{2Z_1}{3}$$

где "С1" - номер паза, в котором лежит начало первой фазы; С2, С3 - номера пазов, в которых лежат начала второй и третьей фаз.

Число параллельных ветвей в фазе обмотки с дробным "q" должно быть кратно числу пар полюсов "р". Схема одной фазы такой обмотки приведена на рисунке 1.17.

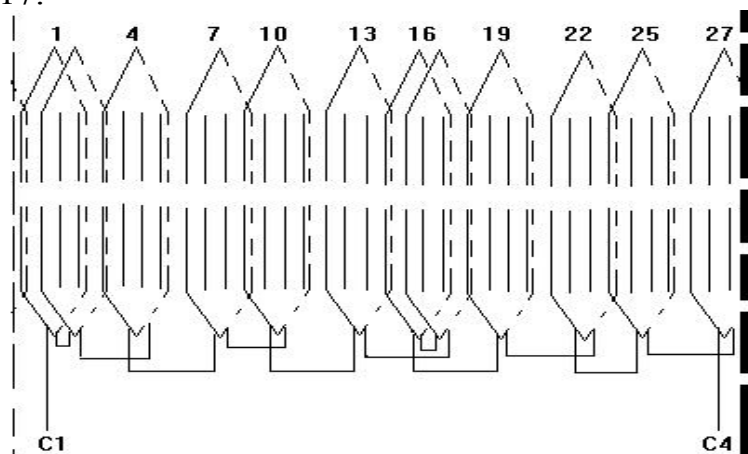


Рисунок 1.17 - Схема фазы А двухслойной обмотки с дробным числом катушек в катушечной группе,  $Z_1=36$ ,  $2p=10$ ,  $a=1$ ,  $Y=3(1-4)$

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подсчитать число пазов на макете статора. По количеству слоев обмотки (количеству катушек, находящихся в одном пазу) и взаиморасположению катушечных групп определить тип обмотки.
2. Для выполнения пункта 2 задания необходимо:
  - 2.1. Выявить пазы, в которых находится одна катушка, и определить расстояние между ними, исчисленное в пазах (для концентрических обмоток определяются расстояния всех катушек любой катушечной группы).
  - 2.2. Подсчитать число катушек в катушечной группе.
  - 2.3. Определить число полюсов обмотки:

— по найденному числу пазов на полюс и фазу "q", из выражения  $\frac{Z_1}{2p}$  ;

- по определенному ранее шагу обмотки  $Y$ , из выражения  $Y^{Z_1}$  ;—

2p

- по найденному числу катушечных групп "k"
- $2p^{2k}$ , для однослойных при q больше или равно 3; m
- $2p^k$ , для однослойных "вразвалку" и двухслойных. m
- 3. Вычертить пофазную и развернутую схему обмотки с указанием номеров катушечных групп.
- 4. При помощи мегаомметра необходимо:
  - 4.1. Проверить сопротивление изоляции катушечных групп между собой и на корпус.
  - 4.2. Определить начало и конец каждой катушечной группы.
  - 4.3. Найти катушечные группы принадлежащие 1-ой, 2-ой и 3-ей фазам и соединить их на требуемое число полюсов.
- 5. Соединить фазы обмотки:
  - 5.1. В звезду, подключить к сети пониженного напряжения, проверить наличие вращающегося магнитного поля.
  - 5.2. В треугольник, подключить к сети пониженного напряжения, проверить наличие вращающегося магнитного поля.
- 6. Соединить катушечные группы (если это возможно) в две параллельные ветви, сохранив прежнее число полюсов. Подключить, соединив фазы в звезду, к сети пониженного напряжения и проверить наличие вращающегося магнитного поля.
- 7. Соединить катушечные группы фаз на другое число полюсов, подключить к сети пониженного напряжения и проверить наличие вращающегося магнитного поля.
- 8. Сделать выводы по проделанной работе.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать сведения о методике создания обмоток статоров асинхронных двигателей, результаты расчетов, распределение катушек по расточке статора, развернутые схемы составленных обмоток, выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Что называется катушечной группой? Как по конструкции обмотки определить ее тип? Как по конструкции обмотки определить средний шаг? Условия создания вращающегося магнитного поля? Как изменить число полюсов обмотки? Как выбирается число параллельных ветвей? Как определить число полюсов обмотки, зная шаг Y, число катушек в группе q, число катушечных групп k? Перечислите достоинства и недостатки однослойных обмоток по сравнению с двухслойными. Перечислите достоинства и недостатки концентрических обмоток. Перечислите достоинства и недостатки двухслойных обмоток. Перечислите достоинства и недостатки шаблонных

обмоток. Опишите основные достоинства и недостатки цепных обмоток. Как выбираются начала и концы фаз двухслойных обмоток с целым числом катушек в катушечной группе? Объясните, как выбираются начала и концы фаз двухслойных обмоток с дробным числом катушек в катушечной группе. Для чего укорачивается шаг обмотки? Как выбирается укорочение шага обмотки? Каким образом производится распределение катушек по катушечным группам у обмоток с дробным "q"? Поясните, каким образом соединяются фазные обмотки статора в звезду или треугольник.

#### ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

1. Подавать на стенд напряжение без разрешения преподавателя категорически запрещается.
2. Все измерения необходимо проводить на отключенном макете.
3. Все переключения необходимо делать на обесточенном макете.
4. "Беличью клетку" необходимо держать крепко двумя руками.
5. О замеченных неисправностях необходимо сразу ставить в известность преподавателя или лаборанта, самостоятельно устранять неисправности запрещается.

Практическая работа №2  
ДЕФЕКТАЦИЯ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В ПРОЦЕССЕ  
РЕМОНТА

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучить методы определения возможных дефектов машин переменного тока до и после их разборки.

**Задачи лабораторной работы:** научиться определять неисправности электротехнического оборудования, на примере машин переменного тока, без его разборки и после разборки.

**1. ПРОГРАММА РАБОТЫ:**

1. Выполнить дефектацию машин переменного тока до разборки.
  - 1.1. Произвести внешний осмотр двигателя. Данные осмотра внести в дефектовочную карту (приложение 3).
  - 1.2. Измерить мегаомметром сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса и между фазами.
  - 1.3. При помощи мегаомметра проверить целостность обмоток.
  - 1.4. Провести маркировку зажимов асинхронного электродвигателя и опробовать его работу при соединении обмоток звездой.
  - 1.5. Перевернуть одну из фаз обмотки, повторно запустить двигатель и сравнить его работу с работой электродвигателя, имеющего правильную маркировку выводных концов.
2. Выполнить дефектацию машин переменного тока после разборки.
  - 2.1. Проверить состояние отдельных узлов и деталей. Данные осмотра занести в дефектовочную карту.
  - 2.2. Измерить величину воздушного зазора между статором и ротором.
  - 2.3. Измерить сопротивление обмоток статора постоянному току, сделать сравнительный анализ данных.
  - 2.4. Проверить целостность стержней обмотки ротора.
  - 2.5. При помощи аппарата типа ЕЛ определить наличие и места витковых замыканий обмотки статора.
3. На основании полученных данных сделать выводы о состоянии асинхронного двигателя в целом и отдельных его узлов.

**ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Капитальный ремонт электрических машин должен проводиться в специализированных предприятиях, к которым относятся: электроремонтная мастерская (ЭРМ), электроремонтный цех (ЭРЦ), электроремонтный завод (ЭРЗ). На ремонтных предприятиях капитальный ремонт электрических ма-

шин проходит по следующей технологической цепочке (рисунок 2.1).





Рисунок 2.1 - Схема ремонта электрических машин

Одним из главных этапов, определяющих характер и объем ремонта, является дефектация, которую проводят на участке дефектации и разборки. Принятую в ремонт машину тщательно осматривают и присваивают ей ремонтный номер. Затем проводят предремонтные испытания, позволяющие определить степень разборки машины, для уточнения объема ремонтных работ. Все неисправности, определяемые при дефектации, заносятся в дефектовочную карту. После окончания ремонта по этой карте уточняют объем послеремонтных испытаний. Дефектацию машин при ремонте целесообразно проводить в два этапа: до разборки и после разборки. Такое разделение исключает возможность ошибочного поступления в ремонт исправной машины. Рассмотрим эти этапы более подробно.

Дефектацию (электрической машины) двигателя начинают с внешнего осмотра, в процессе проведения которого: определяют наличие всех деталей: целостность лап, ребер охлаждения, коробки выводов; осматривают станину и подшипниковые щиты, они считаются непригодными, если имеют забоины, вмятины, трещины в посадочных местах, если отбито более двух лап; осматривают клемную коробку, она должна быть прочно прикреплена к станине, клемные болты - хорошо закреплены и замаркированы.

Значение сопротивления изоляции при напряжении свыше 1000В

должно быть не менее:  $R_{из} \geq \frac{U}{1000 \cdot 0,1P}$ , где  $U$ -номинальное напряжение машины, В;  $P$ - номинальная мощность, кВт.

В машинах переменного тока, напряжением до 1000 В, сопротивление изоляции обмотки статора и ротора должно быть не менее 1 МОм при температуре окружающей среды. Измерения сопротивления изоляции проводятся мегаомметром на 1000В. Этим же прибором можно проверить и целостность фаз обмотки.

Маркировку выводных концов можно выполнить несколькими спосо-

бами: индукционным методом; при помощи миллиамперметра постоянного тока или при помощи аппарата типа "ЕЛ".

При маркировке выводных концов индукционным методом один из выводов обмотки условно принимают за начало фазы, а конец ее соединяют с выводом другой фазы (рисунок 2.2). На эти две последовательно соединенные фазы подают напряжение переменного тока не более 220 В и измеряют напряжение на третьей обмотке.

Если первая и вторая фаза включены встречно (например, началами), то третья фаза, не пересекается магнитным потоком, в ней не наводится ЭДС и показания вольтметра равны нулю. При согласном включении (когда соединены конец первой фазы с началом другой) вольтметр, включенный в третью фазу, покажет наведенную в обмотке ЭДС. Затем третью фазу соединяют последовательно с первой, а во вторую включают вольтметр и находят начало и конец третьей фазы. Найденные начала фаз обозначают С1, С2, С3, концы, соответственно, С4, С5, С6.

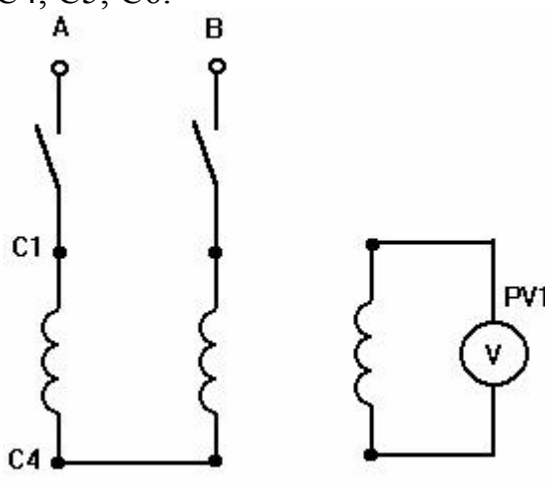


Рисунок 2.2 - Индукционный метод маркировки выводных концов обмоток асинхронных электродвигателей

Начала и концы фаз можно определить при помощи аппарата "ЕЛ". Аппарат "ЕЛ" предназначен /2/: для обнаружения виткового замыкания в обмотках электрических машин и аппаратов; для нахождения мест витковых замыканий в обмотках статоров, роторов, якорей; для проверки правильности соединения обмоток электрических машин; для проверки правильности маркировки начал и концов фаз обмотки статора; для обнаружения обрывов в обмотках машин и аппаратов.

Схема аппарата состоит из трех основных узлов: электронно-лучевой трубки и высоковольтного контура питания трубки; контура развертки луча на экране по горизонтальной оси; генератора импульсов.

Зажимы "Вых. имп." (В.И.) служат для присоединения последовательно соединенных испытуемых обмоток или возбуждающего электромагнита приспособления (100 витков). Зажимы "Сиг. явл." (С.Я.) служат для соединения со средней точкой испытываемых обмоток или для подключения подвижного электромагнита (200 витков). На рисунках 2.3, 2.4 и 2.5 приведены

схемы подключения фаз двигателя к прибору при различных схемах соединения обмоток. В этом случае, если в двигателе выведены все 6 выводных

концов, две фазные обмотки присоединяют к аппарату ЕЛ как показано на рисунке 20. Если три фазы обмотки соединены в звезду, то зажимы "Вых.имп." присоединяются к выводам двух фаз (рисунок 2.4), а левый зажим "Сиг.явл." к выводу третьей фазы.

Перед включением аппарата ручку потенциометра "Ампл. имп." необходимо поставить в крайнее левое положение. Включение аппарата производится выключателем "Сеть", после этого необходимо выдержать не менее одной минуты, пока прогреются лампы и включить анодное напряжение "Анод". Поворотом ручки "Фокус" сфокусировать луч. После присоединения обмоток поворотом ручки "Ампл. имп." установить амплитуду импульса такой величины, чтобы на экране была кривая по масштабу удобная для наблюдения.

При соединении обмоток фаз в треугольник зажимы "Вых. имп." и "Сиг.явл." присоединяются к прибору как показано на рисунке 2.5.

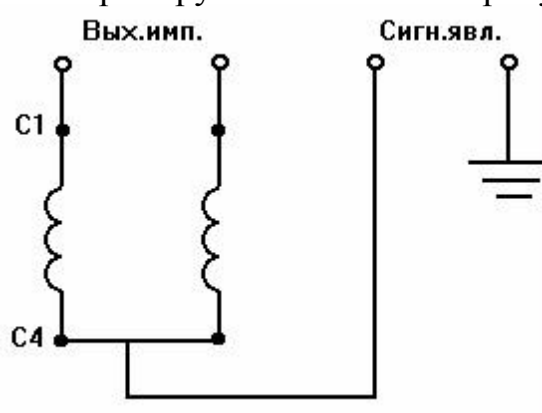


Рисунок 2.3 - Схема подключения обмоток электродвигателя к прибору ЕЛ если выведены все шесть концов обмоток

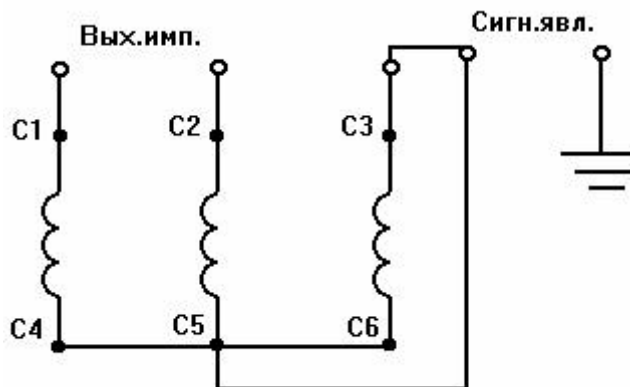


Рисунок 2.4 - Схема подключения к прибору ЕЛ обмотки, соединенной в звезду

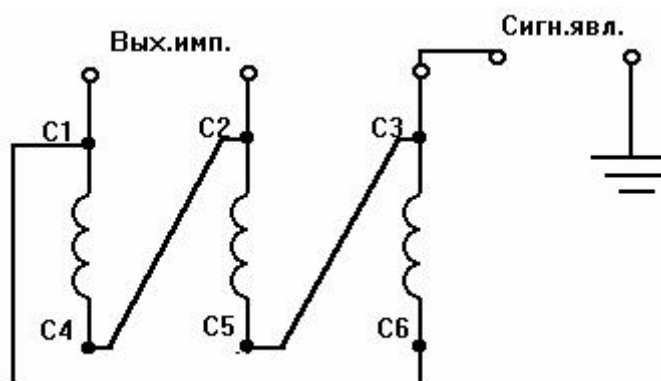


Рисунок 2.5 - Схема подключения к прибору ЕЛ обмотки, соединенной в треугольник

Так как две одинаковые обмотки практически всегда отличаются друг от друга, и эту естественную асимметрию может улавливать аппарат, на экране на вершине кривой напряжения может появиться небольшое раздвоение кривой с колебаниями высокой частоты. Эту асимметрию нужно компенсировать поворотом ручки "Симметр". Испытав обмотки по схемам приведенным на рисунках 2.3, 2.4 или 2.5, и убедившись, что витковых замыканий и других дефектов в ней нет, нужно одну из них поменять местами с третьей фазой обмотки. Если после этого на экране появятся две кривые, то это значит, что вместо исправной обмотки для испытания включена перевернутая обмотка.

Для определения начал и концов фаз обмотки статора, при помощи миллиамперметра постоянного тока, необходимо собрать схему приведенную на рисунке 2.6.

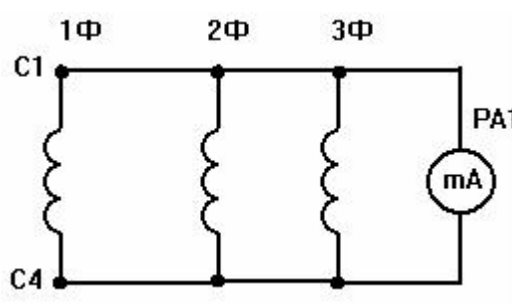


Рисунок 2.6 - Схема определения начал и концов обмотки при помощи миллиамперметра

Найденные при помощи мегаомметра концы фаз по три зажима соединяют вместе и к полученным точкам присоединяют миллиамперметр. Если при вращении ротора от руки стрелка прибора отклоняется, нужно поменять местами выводы одной из фаз. Если после этого стрелка прибора опять отклоняется, следует восстановить первоначальное положение пересоединенной фазы и поменять местами выводы третьей фазы. В одном из трех вариантов стрелка прибора отклоняться не будет, что указывает на то, что все фазы

соединены одноименными зажимами.

Если возможно, двигатель включают в режиме холостого хода и проверяют работу подшипников (шум, нагрев), вентилятора, измеряют токи по фазам (рисунок 2.7), асимметрия которых должна быть не более 5%.

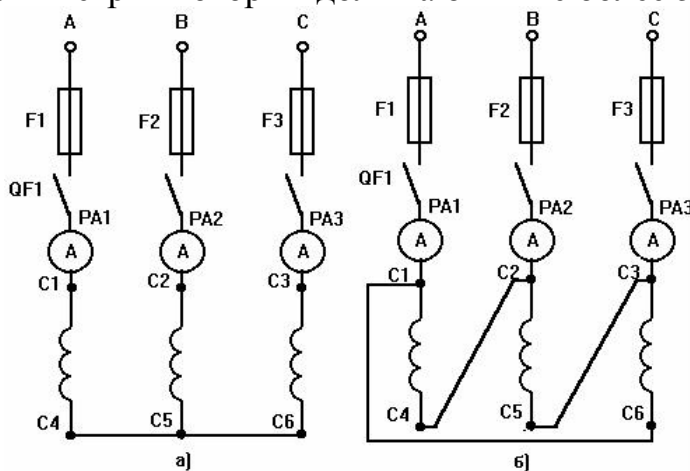


Рисунок 2.7 - Схемы включения двигателя в режиме холостого хода

Схема соединения обмоток зависит от номинального напряжения двигателя. При трех выводных концах и номинальном напряжении 220 В обмотка соединена в треугольник (рисунок 2.7б), а при напряжении 380В в звезду (рисунок 2.7а). В режиме холостого хода по показаниям амперметра можно определить следующие неисправности: наличие витковых замыканий, осевое смещение ротора, изменение величины воздушного зазора. При соединении обмоток в звезду (рисунок 2.7а) и наличии витковых замыканий одной из фаз, например, в фазе А, показание приборов в этой фазе будет иметь большее значение чем в фазах В и С, т.е.  $I_1 > I_2 = I_3$ . При соединении обмотки в треугольник (рисунок 2.7б)  $I_2 = I_3 > I_1$ .

При увеличении воздушного зазора и осевом смещении ротора амперметры всех трех фаз показывают повышенное значение тока холостого хода. При дефектации после разборки выполняют следующие виды работ:

1. Проверяют состояние отдельных узлов и деталей. Крепежные детали заменяют, если они искривлены, имеют испорченную резьбу, головки болтов смяты. Снимая подшипниковый щит, определяют плотность его посадки на корпус и на наружную обойму подшипника. Осматривают его посадочные места, на которых не должно быть забоин, вмятин; поверхность должна быть чистой. Сняв подшипники с вала, осматривают шейки вала, которые должны иметь ровную поверхность и не быть изношенными. Вал не должен иметь искривлений, вмятин, забоин. Полученные данные желательно занести в дефектовочную карту.

2. Измеряют воздушный зазор между статором и ротором, следующим образом: ротор укладывают на статор и при помощи шупа измеряют зазор "d<sub>1</sub>" между поверхностью ротора и расточкой статора в верхней части, затем поворачивают ротор на 180 градусов и повторяют измерения, определяя величину "d<sub>2</sub>"; воздушный зазор "d" определяют по формуле:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}, [\text{мм}].$$





Полученный результат сравнивают с допустимыми значениями приведенными в (таблица А. приложения А).

3. Определяют возможные повреждения обмотки статора. Замыкание обмотки статора на корпус и между фазами определяется при помощи мегаомметра на 500 или 1000 В.

Обрыв в параллельных ветвях обмотки, неправильное соединение схемы, соответствие числа витков и сечение по фазам, наличие большого числа замкнутых витков в отдельных катушках определяются по измеренным сопротивлениям фаз постоянному току. Сопротивления обмоток отдельных фаз могут отличаться друг от друга не более чем на 0,02 Ом. Витковые замыкания в обмотке можно определить при помощи аппарата ЕЛ. Для нахождения в машине паза с межвитковыми замыканиями нужно пользоваться приспособлением с двумя П-образными электромагнитами (рисунок 2.8). Средняя ручка на аппарате должна быть поставлена в крайнее левое положение "Работа с прибором".

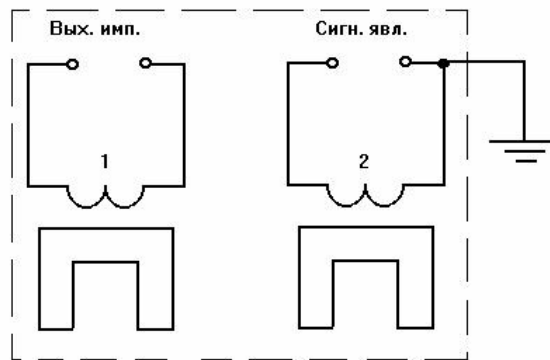


Рисунок 2.8 - Схема подключения приспособления к аппарату

К зажимам "Вых. имп." (ВИ) присоединяется последовательно П-образный возбуждающий электромагнит (100 витков), к зажиму "Сиг. явл." (СЯ) подключается подвижный электромагнит (200 витков) приспособления. Переставляя оба электромагнита, с паза на паз по внутренней расточке статора, на экране лучевой трубки будем наблюдать следующее: при отсутствии в пазу витковых замыканий кривые не меняют своей амплитуды вследствие малой индуктивной связи; при наличии витковых замыканий амплитуда кривых вывернутых друг относительно друга значительно увеличивается.

Пакет стали короткозамкнутого ротора должен быть плотно посажен на вал и не иметь трещин и разрывов в стержнях и короткозамкнутых кольцах. Для проверки указанных дефектов можно использовать метод электромагнита (рисунок 2.9), к обмотке которого подведено переменное напряжение 220 В.

При проверке стальная пластинка накладывается поочередно на каждый паз. При наличии обрыва стержней пластинка к пазу не притягивается.



Результаты дефектации деталей после разборки следует занести в дефектировочную карту (приложение Б).

Перед определением сопротивления обмоток отдельных фаз студенты должны составить электрическую схему измерений и показать ее преподавателю.

Приступать к измерениям следует только после проверки схемы преподавателем. После проведения измерений необходимо произвести сравнительный анализ полученных данных.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть приведены: дефектировочная карта; краткое описание методик определения дефектов; результаты измерений; схемы определения возможных дефектов; осциллограмма ЕЛ для пазов с исправными и поврежденными витками; выводы по проделанной работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Назначение дефектировочной карты. Какие неисправности определяются в двигателе до разборки? Методы определения витковых замыканий в обмотке статора до и после разборки. Почему при "переворачивании" одной из фаз обмотки статора работа электродвигателя искажается? Как определить обрыв стержней обмотки ротора? Методика работы с мегаомметром при проведении измерений. Чему равно минимальное значение сопротивления изоляции электрических машин напряжением до 1000 В? Чему равно минимальное значение сопротивления изоляции электрических машин напряжением свыше 1000 В? Опишите методику работы с прибором ЕЛ. Какие неисправности определяются в электрической машине после разборки?

## ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Подавать на стенд напряжение без проверки правильности сборки схем и разрешения преподавателя категорически запрещается.
2. Соблюдать правила работы с мегаомметром.
3. Не оставлять включенный стенд без присмотра.
4. Все детали разобранной электрической машины должны быть после перестановки надежно зафиксированы.
5. О замеченных неисправностях необходимо сразу ставить в известность преподавателя или лаборанта, самостоятельно устранять неисправности запрещается.

Таблица А - Допустимые значения воздушного зазора

Мощность асинхронно-электродвигателя го , кВт	Величина воздушного зазора (мм) при частоте вращения вала ротора (об/мин)	
	500.. . 1500	3000
0,12 ...0,25	0,20.. . 0,30	0,25.. . 0,40
0,50.. . 0,75	0,25.. . 0,40	0,30.. . 0,50
1,0...2,0	0,30.. . 0,50	0,35.. . 0,50
2,01.. . 7,50	0,35.. . 0,55	0,50.. . 0,80
7,51.. . 15,0	0,40.. . 0,65	0,65.. . 1,00
20... 40	0,50.. . 0,80	0,80.. . 1,25
50... 75	0,65.. . 1,00	1,00.. . 1,50
>100	0,80.. . 1,25	1,25.. . 1,75

### ДЕФЕКТИРОВОЧНАЯ КАРТА

Электрическая машина \_\_\_\_\_ ток \_\_\_\_\_ заказ \_\_\_\_\_

Паспортные данные      Характеристика внешнего осмотра

1. Тип \_\_\_\_\_
2. Мощность \_\_\_\_\_
3. Частота вращения \_\_\_\_\_
4. Напряжение \_\_\_\_\_
5. Сопротивление изоляции до разборки R<sub>C1</sub> - Корп. \_\_\_\_\_  
R<sub>C2</sub> - Корп. \_\_\_\_\_ R<sub>C3</sub> - Корп. \_\_\_\_\_ R<sub>C1</sub> - C2 \_\_\_\_\_ R<sub>C2</sub> - C3 \_\_\_\_\_ R<sub>C1</sub> - C3 \_\_\_\_\_

6. Целостность обмотки (см.П.13).

Дефектовщик \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Дефектные данные при разборке

- |                                |                          |
|--------------------------------|--------------------------|
| 1. Станина (корпус) _____      | 7.Рымболт _____          |
| 2. Кожух, крышки статора _____ | 8.Крепление _____        |
| 3. Подшипниковые щиты _____    | 9.Вал _____              |
| 4. Вентилятор _____            | 10.Железо статора _____  |
| 5. Кожух вентилятора _____     | 11.Ротор _____           |
| 6. Крышки подшипников _____    | 12.Коробка выводов _____ |

13. Целостность обмоток: 14. Сопротивление изоляции между фазами

$R_{C1-C4}$  \_\_\_\_\_  $R_{C1-C2}$  \_\_\_\_\_

$R_{C2-C5}$  \_\_\_\_\_  $R_{C1-C3}$  \_\_\_\_\_

$R_{C3-C6}$  \_\_\_\_\_  $R_{C2-C3}$  \_\_\_\_\_

15. Сопротивление изоляции на корпус:  $R_{C1-}$

Корп. \_\_\_\_\_  $R_{C2-Корп.}$  \_\_\_\_\_  $R_{C3-Корп.}$  \_\_\_\_\_

Вылет лобовых частей \_\_\_\_\_

Схема соединения обмоток \_\_\_\_\_

Дефектовщик \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Практическая работа №3  
ДЕФЕКТАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ РЕМОНТЕ

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** Изучить возможные неисправности силовых трансформаторов и методы их определения.

**Задачи лабораторной работы:** научиться определять неисправности электротехнического оборудования, на примере силового трансформатора, без его разборки и после разборки.

1. ПРОГРАММА РАБОТЫ:

1. Выполнить дефектацию силового трансформатора до разборки:
  - 1.1. Записать паспортные данные трансформатора.
  - 1.2. Произвести внешний осмотр, данные осмотра занести в дефектировочную карту.
  - 1.3. Измерить мегаомметром на 2500 В сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и если возможно между фазами.
  - 1.4. Проверить при помощи мегаомметра целостность обмоток.
  - 1.5. Проверить коэффициент трансформации.
  - 1.6. Измерить сопротивление постоянному току.
  - 1.7. Определить степень увлажнения изоляции трансформатора, по значению коэффициента абсорбции.
  - 1.8. Результаты измерений занести в дефектировочную карту.
2. Выполнить дефектацию силового трансформаторов после разборки:
  - 2.1. Произвести внешний осмотр выемной части трансформатора вводы, отводы, сердечник, обмотки главную и продольную изоляцию результаты осмотра занести в дефектировочную карту.
  - 2.2. Прибором ЕЛ - проверить наличие витковых замыканий в обмотках.
  - 2.3. Мегаомметром измерить сопротивление изоляции стяжных шпилек относительно магнитопровода.
  - 2.4. Проверить состояние магнитопровода трансформатора.
  - 2.5. На основании полученных данных составить перечень узлов и деталей, требующих замены и ремонта.
3. На основании полученных данных сделать выводы по проделанной работе.

ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Ремонт трансформаторов, в соответствии с государственным стандартом, подразделяется на три вида: текущий, средний и капитальный.

Текущий ремонт выполняется на месте установки



трансформатора,безего вскрытия и демонтажа ошиновки, соединяющей его с внешней электро

сетью, он является чисто профилактическим и выполняется ремонтным персоналом службы эксплуатации электроустановок.

Средний (планово-предупредительный) ремонт, кроме работ входящих в текущий ремонт, включает: вскрытие бака, мелкий ремонт вводов и отводов переключающих устройств и других конструктивных элементов. Его выполняют с отключением и доставкой трансформаторов на ремонтную площадку.

Основным этапом при текущем и среднем ремонтах определяющим длительность ремонтных работ, является дефектация, проводимая в два этапа - до разборки и после разборки. Все неисправности, определяемые при дефектации, заносятся в дефектовочную карту трансформатора.

Дефектация до разборки включает в себя внешний осмотр и предремонтные испытания. При внешнем осмотре проверяют: уровень масла; состояние бака, его сварных швов, уплотнений; исправность работы маслоуказателя, сливного крана и др.; состояние вводов переключающего устройства.

Особое внимание уделяют предремонтным испытаниям, которые проводят по следующей программе: измерение сопротивления изоляции; определение коэффициента трансформации; измерение сопротивления обмоток постоянному току; определение степени увлажнения изоляции.

Дефектация после разборки включает в себя: проверку состояния изоляции; определение дефектов обмоток, сердечника, отводов, проходных изоляторов. Основным этапом дефектации трансформаторов является анализ их основных неисправностей. Рассмотрим некоторые основные неисправности трансформаторов.

Замыкание на корпус и междуфазные замыкания одной из обмоток происходят главным образом из-за естественного старения изоляции вследствие увлажнения трансформаторного масла, осаждения на изоляцию продуктов старения масла, резкого понижения его уровня, внутренних и внешних перенапряжений, деформации обмоток, возникающих из-за динамических нагрузок при сквозных коротких замыканиях.

Межвитковое замыкание происходит при недостаточной прессовке обмоток, слабой их посадки на сердечник, толчкообразной нагрузке, дефектов изоляции, естественного старения изоляции, деформации обмоток от электродинамических усилий при сквозных коротких замыканиях. Признаками витковых замыканий являются местный нагрев обмоток, нарушения равенства сопротивлений отдельных фаз, возрастание тока нагрузки первичной обмотки. Обнаруживаются межвитковые замыкания только при разборке.

Деформация обмоток. При коротких замыканиях во вторичной цепи трансформатора токи в обмотках низшего и высшего напряжений могут возрасти в 10...20 раз (в зависимости от величины напряжения короткого замыкания  $U_{к\%}$ ). При сквозных коротких замыканиях радиальные и осевые электродинамические усилия в трансформаторе возрастают в несколько сот раз по сравнению с усилиями при нормальной нагрузке (рисунок 3.1). Если

обмотки трансформаторов слабо закреплены, то эти усилия вызывают в них остаточные деформации, а иногда и разрушают обмотки.

Обрывы в обмотках возникают в результате плохого качества пайки и динамических усилий при коротких замыканиях.

Пробои и перекрытия. В обмотках высшего напряжения вследствие атмосферных и коммутационных перенапряжений происходит пробой изоляции между смежными витками или точечные повреждения изоляции, при повторном перенапряжении они вызывают полное разрушение витковой изоляции. Иногда перенапряжения вызывают не пробой, а перекрытия между секциями данной обмотки или между обмотками разных напряжений, которые обнаруживаются только при дефектации после разборки.

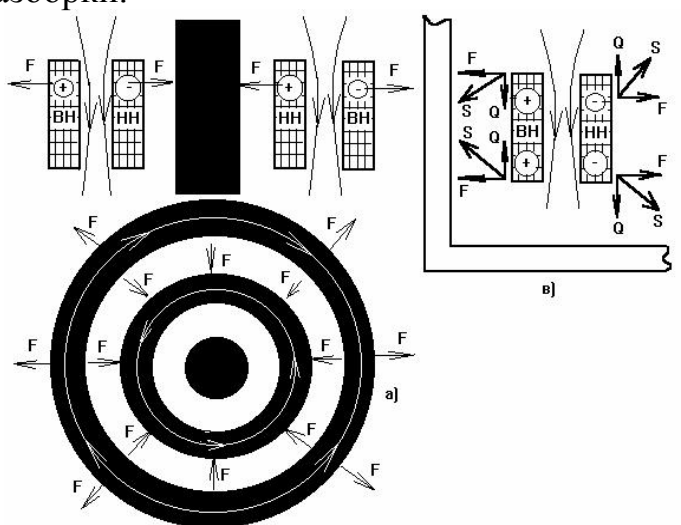


Рисунок 3.1 - Механические усилия в концентрических обмотках трансформатора: а) радиальные усилия; б) осевые и радиальные усилия

Увеличение потерь холостого хода и потерь в стали может возникнуть при нарушении изоляции и появлении токов короткого замыкания в шпильке или вихревых токов в листах электротехнической стали. Нагрев шпильки не только разрушает ее изоляцию (рисунок 3.2), но и часто расплавляет шпильку, сваривая ряд листов стали магнитопровода. Третьей причиной может быть недостаточная прессовка стержней и ярем магнитопровода при сборке. Пожар в стали может быть обнаружен как до так и после разборки. Возьмем пробу масла до разборки трансформатора и если оно темнеет, температура его вспышки падает, масло издает специфический запах сухой перегонки и при обработке центрифугой оставляет значительный осадок, то имеем дело с пожаром в стали.

Обрыв заземляющего устройства магнитопровода. Для трансформаторов с масляным охлаждением заземляющее устройство служит для отводов на землю статических зарядов, появляющихся на магнитопроводе и всех прессующих деталях, выполненных из металла. Признаком обрыва яв-

ляется треск, нарушающий равномерный гул при работе трансформатора. Он возникает в результате появления разности потенциалов на отдельных его частях и перехода статических зарядов на заземленные части трансформатора. Данный дефект может быть определен после разборки.

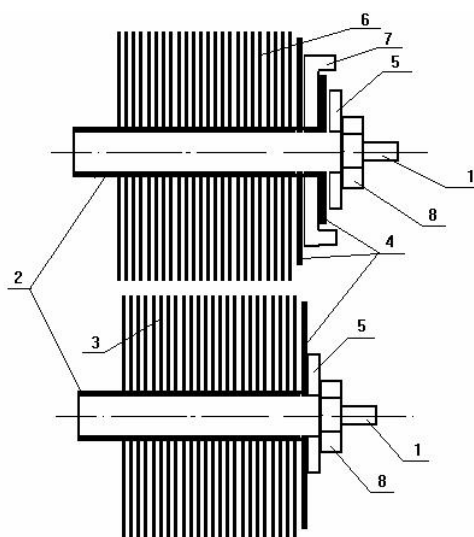


Рисунок 3.2 - Конструкция изоляции стяжных шпилек: 1. Стяжная шпилька. 2. Бумажно-бакелитовая трубка. 3. Листы активной стали стержня. 4. Прокладки из электрокартона-ЭВ. 5. Стальная шайба. 6. Листы активной стали ярма. 7. Ярмовая балка. 8. Гайка.

Переключатель напряжения. Вследствие нарушения регулировки переключающих устройств может наблюдаться отсутствие контакта, а при термическом воздействии сверхтоков короткого замыкания происходит оплавление контактных поверхностей переключающего устройства.

Повреждения бака, арматуры обнаруживаются внешним осмотром. Течь масла из сварных швов, возникающую вследствие их нарушения при механических и термических воздействиях, устраняют сваркой.

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Дефектация силовых трансформаторов до разборки. Выполнение пунктов 1.1. и 1.2. задания не вызывает особых затруднений.

Замыкание обмоток на корпус и их целостность определяется при измерении сопротивления изоляции мегаомметром. Для измерения сопротивления изоляции обмоток высокого напряжения используется мегаомметр на 2500 В. Сопротивление изоляции обмоток низкого напряжения определяют при помощи мегаомметра на 1000 В. Место замыкания на корпус определяется при разборке во время осмотра деталей.

Для определения коэффициента трансформации существуют следующие методы: двух вольтметров; моста переменного тока; моста постоянного тока; эталонного (стандартного) трансформатора.

На рисунке 3.3 приведена схема определения коэффициента трансформации трехфазного трансформатора по методу двух вольтметров.

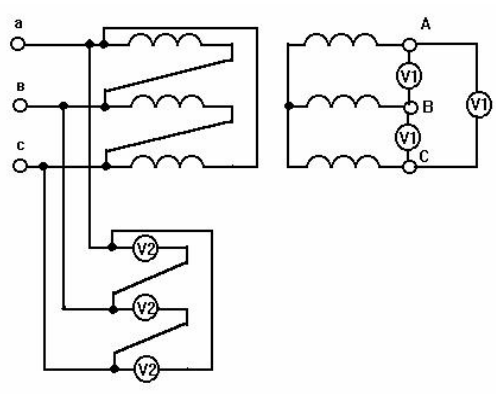


Рисунок 3.3 - Определение коэффициента трансформации трехфазного трансформатора по методу двух вольтметров

Для трансформаторов, имеющих на стороне обмотки низкого напряжения (нн) до 2000В, к этой обмотке подается 100В при напряжении на обмотке "нн" более 2000В к ней подается 200В. Результаты измерений заносят в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 - Определение коэффициентов трансформации

Номер измерения	UAB	UBC	UCA	Uав	Uвс	Uса	K1ф	K2 ф	K3ф
	В	В	В	В	В	В	-	-	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
2									
3									

Расчет коэффициентов трансформации "К<sub>1ф</sub>" ведется по формулам

$$K_1 \text{ ф} = \frac{U_A}{U_{ав}} ; \quad \frac{U_B}{U_{вс}} ; \quad \frac{U_C}{U_{ас}}$$

Результаты полученных измерений не должны отличаться от расчетных более чем на +0,5%. Измерения должны проводиться приборами с классами точности 0,5 или 0,2, шкалы которых позволяют брать отсчет с точностью до 0,2%. Кроме того, снятие показаний по обоим вольтметрам следует производить одновременно. Опыт следует повторить с трехкратной повторностью, при разных значениях напряжений. Полученные результаты следует обработать и сделать необходимые выводы.

Сопротивление фазных обмоток низкого и высокого напряжений постоянному току измеряют для всех доступных ответвлений. Измерения производят методом "амперметра и вольтметра". Во избежание нагрева обмотки и внесения ошибок в результаты измерения ток при измерении не должен превышать 20% номинального тока обмотки. Результаты измерений заносят-



ся в таблицу 3.2. При измерении делают не менее трех повторов при разных значениях тока. При соединении фаз звездой  $R_{\phi} = 0,5 R_{изм}$ . При соединении фаз в треугольник  $R_{\phi} = 1,5 R_{изм}$ .

Результаты измерений считаются удовлетворительными если фазные значения сопротивлений отличаются друг от друга не более чем на +5%. Измеренные значения сопротивлений приводят к расчетной температуре 75 С

$$R_{75} = \frac{235 t_{oc}}{235 t_{изм} + 75} R$$
, где  $t_{из}$  - температура, при которой измерялось сопротивление фазы  $R_{\phi}$ ;  $t_{oc}$  - температура окружающей среды.

Таблица 3.2 - Сопротивление фазных обмоток высокого и низкого напряжения постоянному току

№	Высокое напряжение					Низкое напряжение				
	U	I	R <sub>изм</sub>	R <sub>ф</sub>	R75	U	I	R <sub>изм</sub>	R <sub>ф</sub>	R75
	В	А	Ом	Ом	Ом	В	А	Ом	Ом	Ом
1										
2										
3										

Определение степени увлажнения изоляции трансформатора производят мегаомметром на 2500 В. Измеряют поочередно сопротивление изоляции обмоток каждого напряжения относительно корпуса.

Сопротивление изоляции для трансформаторов с классом обмотки высокого напряжения 10 кВ должно быть не ниже значений приведенных в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Нормируемые значения сопротивления изоляции для трансформаторов

Температура обмотки, °С	10	20	30	40	50	60	70
Сопротивление изоляции, МОм	450	300	200	130	90	60	40

Объективным показателем оценки состояния изоляции с точки зрения увлажнения является коэффициент абсорбции  $K_{абс} = \frac{R_{из60}}{R_{из15}}$ . Он представляет собой отношение сопротивления изоляции измеренного через 60 секунд к сопротивлению изоляции, измеренному через 15 секунд.

Через 15 секунд, после начала измерений, по прибору определяют величину сопротивления изоляции. Не прекращая вращать рукоятку мегаомметра, второй отсчет делают через 60 секунд после начала измерений. Полученные результаты измерений должны быть приведены к одной температуре. В приведенной ниже таблице 3.4 даны коэффициенты приведения сопротивлений к одной температуре.

Пример использования таблицы 3.4. Сопротивление изоляции изме-

рялось при температуре 60 С и его величина составила 450 МОм. Необходимо определить значение сопротивления изоляции при 20 С.

Таблица 3.4 - Коэффициенты приведения сопротивлений изоляции к одной температуре

Разность температур, $t=t_{n-1}-t_n$	5	10	15	20	25	30	35	40
Коэффициент приведения, $K_{пр}$	1,23	1,50	1,80	2,25	2,75	3,40	4,15	5,10

Решение. Разность температур  $t=60 - 20 = 40$ С. По таблице 7 определяем коэффициент приведения " $K_{пр}$ " для разности температур  $t$  в 40 С. Он равен 5,1. Если разность температур  $t$  более 40 С и составляет, например, 50 С, то " $K_{пр}$ " можно определить следующим образом

$$K_{пр50} = K_{пр40} K_{пр10} = 5,1 \cdot 1,5 = 7,65.$$

Для сухой изоляции коэффициент абсорбции должен быть больше или равен 1,3. Степень увлажнения изоляции может быть определена и по методу "емкость-частота" при помощи прибора ПКВ-7. Этот метод основан на том, что емкость неувлажненной изоляции при изменении частоты изменяется меньше, чем у увлажненной изоляции. Принято измерять емкость  $C_2$  - при частоте 2Гц и  $C_{50}$  - емкость при частоте 50Гц. Измерение емкости изоляции при частоте 50Гц приводит к тому, что успевают проявляться только геометрическая емкость, одинаковая у сухой и влажной изоляции. При частоте 2Гц успевают проявиться абсорбционная емкость влажной изоляции, в то время как у сухой изоляции она меньше и заряжается медленнее. Прибор подключается между каждой обмоткой высокого и низкого напряжения и корпусом при заземленных свободных концах обмоток. Рассмотрим более подробно порядок работы с прибором "ПКВ-7".

- 1) Трансформатор должен быть отключен от сети.
- 2) Изоляторы очищены от пыли и грязи.
- 3) Собирается схема измерения: заземлить корпус трансформатора и все обмотки кроме испытуемой.
- 4) Мегаомметром измеряется сопротивление изоляции. При сопротивлении изоляции менее 100 МОм возможно появление дополнительной погрешности. Результаты измерений необходимо занести в таблицу 3.5.
- 5) Заземлить корпус прибора и включить его в сеть.
- 6) Включить тумблер прибора "сеть" и прогреть прибор 2...3 мин.
- 7) Переключатель предела ставится в положение "100" тыс. пФ.

Таблица 3.5 - Результаты измерения сопротивления изоляции

Объект измерения	Сопротивление изоляции между обмоткой и корпусом, МОм			Сопротивление изоляции между фазами, МОм		
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R1-2	R1-3	R2-3
1	2	3	4	5	6	7
Высокое напряжение						
Низкое напряжение						

8) Тумблер Т1 ("изм-уст") устанавливается в положение "уст", и ручкой "О" производится установка стрелки измерителя на нуль. Переключение тумблера Т1 в положение "уст" и проверка нуля при отключении объекта измерения обязательны перед каждым измерением.

9) Присоединяется измеряемая фаза к зажиму "объект". Длина соединяемых проводов должна быть минимальной.

10) Для измерения емкости C<sub>50</sub> тумблер Т2 ("С<sub>50</sub>"-"С<sub>2</sub>-С<sub>50</sub>") устанавливается в положение "С<sub>50</sub>", тумблер Т3 ("ЕВ"-"ПКВ") в положение "ПКВ".

11) Тумблер Т1 переводится в положение "изм", и через 10...15 секунд записываются показания по шкале прибора. В том случае, если выбранный предел не соответствует величине измеряемой емкости (показания составляют менее одной пятой шкалы) переключатель предела ставится в нужное положение.

12) Для измерения величины "С<sub>2</sub>-С<sub>50</sub>" тумблер Т2 ставится в положение "С<sub>2</sub>-С<sub>50</sub>", тумблер Т3 в положение "ПКВ". Отсчет показаний по прибору берется спустя не менее 30 сек. после переключения тумблера Т1 в положение "изм". Определение отношения C<sub>2</sub>/C<sub>50</sub> производится по формуле

$$\frac{C_2}{C_{50}} = \frac{C_2 \cdot C_{50}}{C_{50}^2}$$

Предел измерений выбирается так же как в пункте 11.

13) Для определения величины С тумблер Т2 устанавливается в положение "С<sub>2</sub>-С<sub>50</sub>", а тумблер Т3 в положение "ЕВ". Отсчет показаний по прибору берется через 60 секунд после переключения тумблера Т1 в положение "изм". Отношение C/C<sub>50</sub> соответствует величине относительного прироста емкости. Перевод отсчета по прибору ПКВ-7 в величину измеряемой емкости проводится по таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Коэффициенты перевода показаний прибора ПКВ-7

Предел измерений, тыс. пФ	1	2	10	20	100
Коэффициент "К"	10	20	100	200	1000

Примечание: "К" - коэффициент, на который нужно умножить показания прибора, чтобы получить величину измеряемой емкости.

У трансформаторов с сопротивлением изоляции на корпус в пределах от 10 до 100 МОм для получения более точных результатов емкости "С<sub>50</sub>" и "С<sub>2</sub>-С<sub>50</sub>" следует определять по формулам:

$$C_{50И} \quad C_{50М} \quad \frac{2}{C_{50и0и} R_{ИЗМ}}$$

$$C_2 \quad C_{50И} \quad C_2 \quad C_{50ИЗМ} \quad 1 \quad \frac{2,5}{C_{пред} R_{ИЗМ}}$$

$$C \quad C_{ИЗМ} \quad 1 \quad \frac{20}{C_{пред} R_{ИЗМ}}$$

где  $C_{50ИЗМ}$  - измеренное значение емкости обмотки при частоте в 50Гц;  $R_{ИЗМ}$  - измеренное значение сопротивления изоляции в МОм;  $C_{пред}$  - предел измерения прибора в тыс. пФ.

14) Результаты измерений заносим в таблицу

3.7. Таблица 3.7 - Результаты измерений

Объект измерения	Изменяемая величина	Емкость и прирост емкости								
		Первая фаза			Вторая фаза			Третья фаза		
		Деле-ния	Пре-дел	пФ	Деле-ния	Пре-дел	пФ	Де-ления	Пре-дел	пФ
Обмотка ВН	$C_{50}$									
	$C=C_2$ $C_{50}$									
Обмотка НН	$C/C_{50}$									

Дефектация силовых трансформаторов после разборки. Дефектация выемной части трансформатора начинается с осмотра обмоток, при котором обращают внимание на:

- 1) Состояние витковой изоляции. Наличие витковых замыканий необходимо определить прибором ЕЛ.
- 2) Наличие деформаций и смещение обмоток в радиальном направлении.
- 3) Состояние паяк на обмотках и отводах.
- 4) Состояние охлаждающих каналов между обмотками и сердечником.
- 5) Состояние главной и продольной изоляций. Для проверки состояния глав-

ной и продольной изоляций необходимо из нескольких мест вырезать образцы материала в виде полосок, которые сгибают под прямым углом и затем снова складывают вдвое без сдавливания места сгиба. Если при сгибе образца вдвое электрокартон не лопается - изоляция хорошая; если при полном сгибе образуются трещины - изоляция удовлетворительная, если при сгибе на 90 изоляция ломается то ее считают непригодной к эксплуатации.

- 6) Состояние магнитопровода. При определении состояния магнитопровода необходимо: проверить плотности затяжки сердечника, ярма (кончик ножа не должен входить между пластинами на глубину более 5 мм); убе-

даться в отсутствии цветов побежалости и ржавчины на пакетах железа сердечника, ярма; убедиться в удовлетворительном состоянии межлистовой изоляции сердечника, ярма; убедиться в отсутствии перекосов и вмятин магнитопровода; мегаомметром на 1000В измерить сопротивление изоляции стяжных шпилек по отношению к магнитопроводу. Сопротивление изоляции должно быть более 10 МОм. Результаты измерений следует занести в таблицу 3.8.

Таблица 3.8 - Результаты измерений сопротивления изоляции стяжных шпилек

Номера шпилек	1	2	3	4	5	6				
Сопротивление изоляции, МОм										

- 7) Состояние изоляции отводов. Отводы от обмоток должны быть плотно прикреплены к изолирующим планкам и надежно изолированы.
- 8) Состояние внутренней части проходных изоляторов, Они должны иметь надежную армировку с фланцами, хорошую резьбу на проходных стержнях, не иметь трещин, сколов, ожогов. Результаты дефектации заносят в дефектировочную карту (приложение А).

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть приведены: теоретические сведения о методике проведения и поиска неисправностей в силовых трансформаторах; схемы определения возможных дефектов; результаты дефектации до и после разборки; результаты измерений; дефектировочная карта; выводы по полученным результатам.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Какие неисправности трансформатора определяют внешним осмотром? Для чего определяют сопротивление обмоток постоянному току? Для чего и какими способами можно измерить коэффициент трансформации? Что такое коэффициент абсорбции, как его измеряют? Чему равна минимально допустимая величина коэффициента абсорбции? Перечислите конструктивные элементы изоляции шпилек и ярма Чему равно наименьшее сопротивление изоляции шпилек относительно сердечника? Какие неисправности трансформатора определяют после его разборки? Как проверяется состояние электрокартона? Перечислите классы изоляции электрокартона. Назовите порядок определения состояния магнитопровода трансформатора после разборки.



От каких факторов зависит сопротивление изоляции трансформатора?

## ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

1. Подавать на стенд напряжение без проверки правильности сборки схем и разрешения преподавателя категорически запрещается.
2. Соблюдать правила работы с мегаомметром.
3. Не оставлять включенный стенд без присмотра.
4. Все детали разобранной электрической машины должны быть после перестановки надежно зафиксированы.
5. О замеченных неисправностях необходимо сразу ставить в известность преподавателя или лаборанта, самостоятельно устранять неисправности запрещается.

Приложение А

### ДЕФЕКТИРОВОЧНАЯ КАРТА

Паспорт трансформатора \_\_\_\_\_

Тип \_\_\_\_\_ Частота \_\_\_\_\_ Группа соединения \_\_\_\_\_  
 Класс нагрева \_\_\_\_\_ Мощность \_\_\_\_\_ Сто-  
 рона ВН \_\_\_\_\_ Сторона НН \_\_\_\_\_ Напряжение \_\_\_\_\_  
 Ток \_\_\_\_\_ Вес \_\_\_\_\_

Дефектация до разборки

1. Характеристика внешнего осмотра \_\_\_\_\_

2. Бак
3. Вводы
4. Маслоуказатель
5. Расширитель
6. Кран для слива масла
7. Переключающее устройство

Предремонтные испытания

8. Целостность обмотки

ВН  $R_{AX} =$        $R_{BY} =$        $R_{CZ} =$   
 НН  $R_{ax} =$        $R_{by} =$        $R_{cz} =$

9. Сопротивление изоляции на корпус

$R_{из.С-}$   
 $R_{из.А-К}^{ВН} =$        $R_{из.В-К} =$        $K =$   
 $R_{из.а-к}^{НН} =$        $R_{из.в-к} =$        $R_{из.с-к} =$

10. Сопротивление изоляции между фазами

$R_{из.ВС} =$        $R_{из.СА} =$   
 $R_{из.АВ}^{ВН} =$        $R_{из.вс} =$        $R_{из.са} =$   
 $R_{из.ав}^{НН} =$        $R_{из.вс} =$        $R_{из.са} =$

Дефектация после разборки

11. Сопротивление изоляции стяжных шпилек относительно сердечника

Номер шпилек	1	2	3	4	....	n
--------------	---	---	---	---	------	---

Сопротивление  
изоляции,  
МОм

12. Наличие  
витковых

замыкани  
й

1 фаза

2 фаза

3 фаза

Дефектовщик \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Практическая работа №4  
ИСПЫТАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНОЙ  
ОБМОТКОЙ РОТОРА ПОСЛЕ РЕМОНТА

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучить и освоить методику проведения контрольных и типовых испытаний асинхронного двигателя.

**Задача лабораторной работы:** научиться проводить контрольные и типовые испытания асинхронного двигателя.

**ПРОГРАММА РАБОТЫ:**

1. Ознакомиться со стендом для проведения контрольных и типовых испытаний асинхронного электродвигателя.
2. Провести внешний осмотр, обратив особое внимание на затяжку крепежных болтов, гаек, вращение ротора электродвигателя.
3. Мегаомметром проверить целостность обмоток статора и ротора.
4. Измерить мегаомметром сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса и между фазами.
5. Измерить сопротивление обмоток статора и ротора постоянному току.
6. Провести опыт на трансформацию.
7. Провести испытание витковой изоляции.
8. Провести опыт холостого хода.
9. Провести опыт короткого замыкания.
10. На основании результатов опытов холостого хода и короткого замыкания рассчитать коэффициент полезного действия электродвигателя и сравнить его с паспортным значением.
11. Провести испытание электрической прочности корпусной изоляции.
12. На основании анализа полученных результатов испытаний сделать выводы.

**ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

При изготовлении и ремонте электрооборудования основными операциями являются контрольные и типовые испытания. Контрольным испытаниям подвергают каждое изделие. В объем контрольных испытаний электрооборудования входят следующие операции: измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между фазами; измерение сопротивления обмоток постоянному току; проведение опыта холостого хода; проведение опыта короткого замыкания; испытание витковой изоляции обмоток; испытание изоляции обмоток повышенным напряжением.

Перечисленные выше операции обязательны в объеме

контрольных испытаний как электрических машин, так и трансформаторов. Кроме этих испытаний для электродвигателей с фазным ротором определяют и коэффициент трансформации. Рассмотрим более подробно методику проведения

контрольных испытаний.

Сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса и между фазами измеряют в холодном состоянии и приводят полученные значения к одной температуре, т.е. к рабочей температуре обмотки, равной 75 С. Измерения проводятся мегаомметром на 1000В. Этим же прибором можно проверить и целостность фаз обмотки.

Объективным показателем оценки состояния изоляции с точки зрения увлажнения является коэффициент абсорбции. Он представляет собой отношение сопротивления изоляции измеренного через 60 секунд к сопротивлению изоляции, измеренному через 15 секунд.

Через 15 секунд, после начала измерений, по прибору определяют величину сопротивления изоляции. Не прекращая вращать рукоятку мегаомметра, второй отсчет делают через 60 секунд после начала измерений.

Полученные результаты измерений должны быть приведены к одной температуре. Методика приведения подробно описана в предыдущей лабораторной работе.

Согласно того же требованиям ПУЭ в машинах переменного тока, напряжением до 1000 В сопротивление изоляции обмотки статора и ротора должно быть не менее 1 МОм при температуре окружающей среды.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току производится методом амперметра-вольтметра. При проведении измерений необходимо учесть следующее: сила постоянного тока не должна превышать 20% от номинального тока машины; температура обмотки не должна отличаться от температуры окружающей среды более, чем на 3 С; если обмотку можно разъединить, то необходимо измерять сопротивление каждой фазы; если три фазы обмотки соединены в звезду внутри электродвигателя, то необходимо измерить сопротивление двух последовательно соединенных фаз между каждой парой выводных концов. Пусть  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  - действительные значения сопротивлений фаз двигателя, а  $R_{12}$ ,  $R_{32}$  и  $R_{31}$  результаты измерений, проведенных между выводами 1 и 2, 2 и 3, 3 и 1, тогда

$$R_{12} = R_1 + R_2;$$

$$R_{23} = R_2 + R_3;$$

$$R_{31} = R_3 + R_1.$$

Совместное решение этой системы уравнений относительно известных значений  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  дает

$$R_1 = \frac{R_{12} R_{31} R_{23}}{2};$$

$$R_2 = \frac{R_{12} R_{23} R_{31}}{2};$$

$$R_3 = \frac{R_{23} R_{31} R_{12}}{2}.$$

При соединении трех фаз обмотки внутри электродвигателя в тре-

угольник сопротивление измеряется между каждой парой выводных концов. Тогда сопротивления фаз обмотки электродвигателя можно определить из следующих выражений

$$R_1 = \frac{4 R_{23} R_{31}}{R_{23} + R_{31} + R_{12}} ;$$

$$R_2 = \frac{4 R_{31} R_{12}}{R_{31} + R_{12} + R_{23}} ;$$

$$R_3 = \frac{4 R_{12} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} .$$

При проведении контрольных испытаний достаточно сделать один замер для каждой цепи. Сопротивления обмоток отдельных фаз не должны отличаться друг от друга более чем на 3% /3/. Измерение сопротивлений фаз обмоток позволяет выявить следующие неисправности: обрыв в параллельных ветвях; неправильное соединение схемы.

Если сравнить полученные значения с каталожными данными, то можно определить: соответствие числа витков и сечения провода номинальным данным. В этом случае сопротивления фаз одинаковы и соответствуют каталожным данным; наличие большого числа замкнутых витков в отдельных катушках. В этом случае сопротивления по фазам будут разными; качество паек. При плохом качестве паек сопротивления по фазам тоже будут разными.

Определение коэффициента трансформации проводят для выявления неисправностей в обмотках статора и ротора и испытания витковой изоляции обмоток в электродвигателях с фазным ротором. При проведении опыта к статору подводят номинальное напряжение (выводы ротора P1, P2, P3 - разомкнуты) и измеряют напряжение между фазами статора и ротора.

При исправной обмотке ротора - он не должен вращаться. Вращение ротора электродвигателя может быть вызвано следующими причинами: плохим качеством изоляции листов стали, из-за чего появляются вихревые токи, или витковым замыканием в обмотке ротора. При этом вращающий момент незначителен, и ротор можно легко затормозить во время проведения опыта; замыканием между фазами обмотки ротора. В этом случае ротор вращается с половинной частотой, а в обмотке статора протекает изменяющийся ток, превышающий номинальный; большим количеством замкнутых витков одной фазы.

Токи в фазах обмотки статора не должны отличаться друг от друга более чем, на 5%, линейные напряжения на роторе должны быть равны. Увеличенный ток одной из фаз, при этом опыте, может указывать на витковое

замыкание в обмотке статора или ротора или на неправильное соединение катушечных групп обмотки статора. На те же неисправности указывают и разные линейные напряжения между выводами обмотки ротора. Для того чтобы определить изменяются ли эти напряжения необходимо измерить напряжения на кольцах ротора, медленно его поворачивая. Если напряжения на кольцах ротора не равны между собой и изменяются в зависимости от поло



жения ротора по отношению к статору, то это указывает на замыкание в обмотке статора.

При замыкании в обмотке ротора, если обмотка статора исправна, напряжение между контактными кольцами ротора будет неодинаковым и не будет изменяться в зависимости от положения ротора. Эти же повреждения могут быть определены при измерении токов в цепи статора. При витковом замыкании и неправильном соединении катушечных групп в обмотке статора токи по фазам неодинаковы и не зависят от положения ротора.

При витковом замыкании в обмотке ротора токи по фазам статора меняются в зависимости от положения ротора. Коэффициент трансформации

определяется по формуле  $K_T = \frac{U_{1л}}{U_{2л}}$ , где  $U_{1л}$  - линейное напряжение обмотки

статора, определенное как средняя величина, полученная при трех замерах линейного напряжения, В;  $U_{2л}$  - линейное напряжение обмотки ротора, определенное как средняя величина, полученная при трех замерах линейного напряжения между контактными кольцами ротора, В.

Допустимое отклонение коэффициента трансформации от его расчетного значения не должно превышать 2%.

Опыт холостого хода проводят при номинальном напряжении. В ходе проведения этого опыта определяют ток холостого хода и потери мощности холостого хода.

Повышенное, против нормального, значение тока холостого хода для данного двигателя указывает на увеличение воздушного зазора, малое число витков в обмотке статора или осевое смещение ротора. Неравномерность токов по фазам не должна превышать 4,5% от их среднего значения. Увеличенные механические потери могут быть следствием повышенного трения в подшипниках и неправильной установки вентилятора, а увеличенные потери в стали (определяются из опыта на трансформацию) - следствием дефектов сердечника или осевого смещения ротора. Соответствие измеренной частоты вращения паспортной указывает на правильное выполнение обмотки по числу катушечных групп в обмотке.

Опыт короткого замыкания после ремонта позволяет определить состояние токовых цепей статора и ротора. Увеличенные потери короткого замыкания указывают на некачественное выполнение схемы обмотки.

На основании результатов опытов холостого хода и короткого замыкания можно ориентировочно определить коэффициент полезного действия

электродвигателя по формуле  $\eta = \frac{P_n}{P_n + P_o + P_k}$ , где  $P_n$  - номинальная паспортная мощность электродвигателя, Вт;  $P_o$  - потери мощности полученные в результате проведения опыта холостого хода при номинальном напряжении,

Вт;  $P_k$  - потери мощности полученные проведением опыта короткого замыкания, Вт.

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Схема испытаний асинхронного электродвигателя с фазной обмоткой ротора собрана на базе прибора К505. Сборку схемы того или иного опыта производят при помощи проводников на панели стенда и на самом приборе. Схема соединения фазных обмоток статора задается преподавателем.

Знакомство со стендом осуществляется при помощи методических указаний и электрической схемы стенда (рисунок 4.1). Осмотр машины производят, обращая внимание на затяжку крепежных болтов, гаек. Во время осмотра проверяют состояние подшипников качения, вращая ротор машины. Целостность обмотки проверяют при помощи мегаомметра, контрольной лампы или омметра.

Для измерения сопротивления фаз электродвигателя постоянному току необходимо собрать схему, приведенную на рисунке 4.2. Чтобы измерить сопротивление фазы статора, необходимо клеммы "+" и "-" соединить с началом и концом фазной обмотки статора (С1 и С4) через реостат R1. По амперметру PA1 установить требуемый измерительный ток. Произвести отсчет по амперметру PA1 и вольтметру PV1, результаты отсчета занести в таблицу 4.1. Установить другое значение тока и провести измерения в трехкратной повторности. Отключить постоянное напряжение. К выводам "+" и "-", согласно рисунка 4.2, подключить другую фазу и повторить измерение и т.д.

Таблица 4.1 - Результаты измерения сопротивлений фаз электродвигателя

Номер фазы	Номер измерения	U	I	R <sub>изм</sub>	R <sub>рез</sub>
		В	А	Ом	Ом
1	2	3	4	5	6
С1 - С4	1				
	2				
	3				
С2 - С5	1				
	2				
	3				
С3 - С6	1				
	2				
	3				
P1 - P2	1				
	2				
	3				
P2 - P3	1				
	2				
	3				

P3 - P1	1				
	2				
	3				

При определении коэффициента трансформации опыт производят с разомкнутой обмоткой ротора. Для проведения опыта необходимо собрать схему, приведенную на рисунке 4.3.

Напряжение на зажимах ротора измеряется при помощи настольного вольтметра между выводами ротора P1, P2 и P3. Мощность "P" определяется по показаниям прибора К505. Результаты замеров следует занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 - Результаты опыта на трансформацию

I <sub>a</sub>	I <sub>b</sub>	I <sub>c</sub>	U <sub>AB</sub>	U <sub>BC</sub>	U <sub>CA</sub>	U <sub>P1P</sub> 2	U <sub>P2P</sub> 3	U <sub>P1P</sub> 3	P <sub>A</sub>	P <sub>B</sub>	P <sub>C</sub>	K <sub>T</sub>
A	A	A	B	B	B	B	B	B	Вт	Вт	Вт	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Для проведения опыта холостого хода необходимо собрать схему приведенную на рисунке 4.1. Перед подачей напряжения в схему необходимо установить движок автотрансформатора TV1 в положение, соответствующее минимальному значению напряжения. Затем включить автоматический выключатель QF1, при этом должна загореться сигнальная лампочка HL2, плавно увеличить напряжение движком автотрансформатора TV1 до номинального напряжения. В таблицу 4.3 необходимо занести значения токов статора, токов ротора, напряжения на зажимах статора, мощности (ваттметр PW). Частоту вращения вала электродвигателя измеряют при помощи часового тахометра.

Таблица 4.3 - Результаты опыта холостого хода

I <sub>a</sub>	I <sub>b</sub>	I <sub>c</sub>	U <sub>AB</sub>	U <sub>BC</sub>	U <sub>CA</sub>	P <sub>A</sub>	P <sub>B</sub>	P <sub>C</sub>	n	Примечание
A	A	A	B	B	B	Вт	Вт	Вт	об/мин	
1	2	3	4	5	6	10	10	10	8	9

Опыт короткого замыкания проводят по схеме показанной на рисунке 4.4. Перед подачей напряжения необходимо установить движок автотранс-форматора TV1 в положение, соответствующее минимальному напряжению, ротор необходимо затормозить при помощи специального тормоза. В связи с опасностью сильного нагрева электродвигателя опыт

короткого замыкания необходимо проделать быстро, но без суеты.

Опыт короткого замыкания производят следующим образом:подают

напряжение на обмотку статора, движком автотрансформатора TV1 увеличивают напряжение на зажимах электродвигателя до того момента когда ток в обмотках ротора достигает своего номинального значения. В таблицу 4.4 заносят следующие показания приборов: ток статора, напряжение на статоре и мощность короткого замыкания.

Таблица 4.4 - Данные опыта короткого замыкания

Ik	Uк	Pк	Примечание
А	В	Вт	-
1	2	3	4

Паспортные данные электродвигателя с фазным ротором: Тип - АК-52-6; Y/ , 220/380 В, 13,2/7,7 А; 2,8 кВт; 920 об/мин; 50 Гц; к.п.д.-70,5%; COS - 0,74; Ротор - 91 В; 18 А.  $R_{\phi}=1,29 \text{ Ом}$ ;  $R_{\phi}=0,156 \text{ Ом}$ .

Методики проведения испытания витковой изоляции и проведения испытания электрической прочности корпусной изоляции полностью описаны в /3 и 4/.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать сведения о методике проведения контрольных и типовых испытаний асинхронных электродвигателей, схемы, результаты проведения экспериментов, общие выводы по проделанной работе, описание выявленных неисправностей.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Что входит в контрольные испытания электрических машин? Какие неисправности асинхронного электродвигателя можно выявить из опыта на трансформацию? Какие неисправности асинхронного электродвигателя можно выявить из опыта холостого хода? Какие неисправности асинхронного электродвигателя можно выявить из опыта короткого замыкания? Как проводится опыт короткого замыкания? Как проводится опыт холостого хода? Как проводится опыт на трансформацию? Нарисуйте схему опыта холостого хода. Нарисуйте схему проведения опыта на трансформацию. Как можно выявить наличие виткового замыкания в цепи статора? Как можно выявить наличие виткового замыкания в цепи ротора?

## ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

6. Подавать на стенд напряжение без проверки правильности сборки схем и разрешения преподавателя категорически запрещается.
7. Соблюдать правила работы с мегаомметром.
8. Не оставлять включенный стенд без присмотра.
9. После выполнения каждого опыта необходимо напряжение питания снижать до нуля, только после этого можно отключать установку.
10. О замеченных неисправностях необходимо сразу ставить в известность преподавателя или лаборанта, самостоятельно устранять неисправности запрещается.

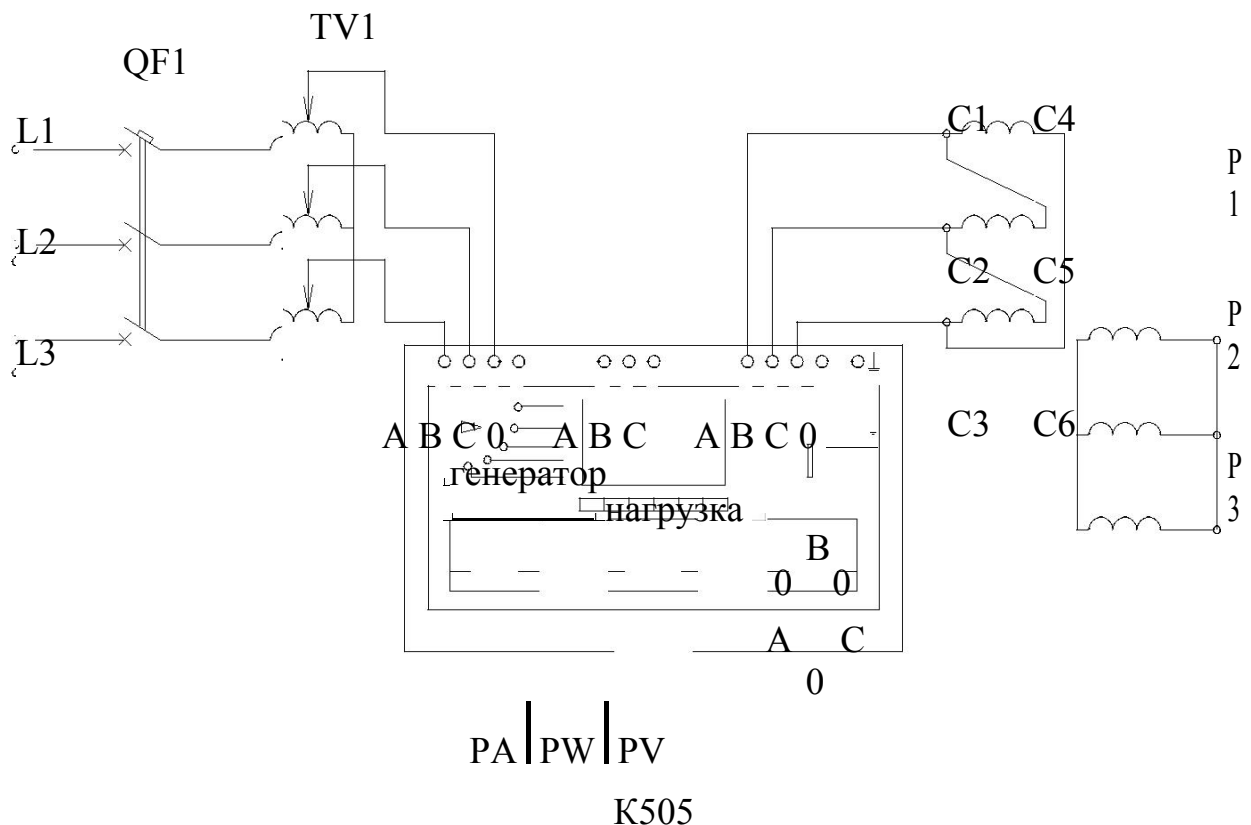
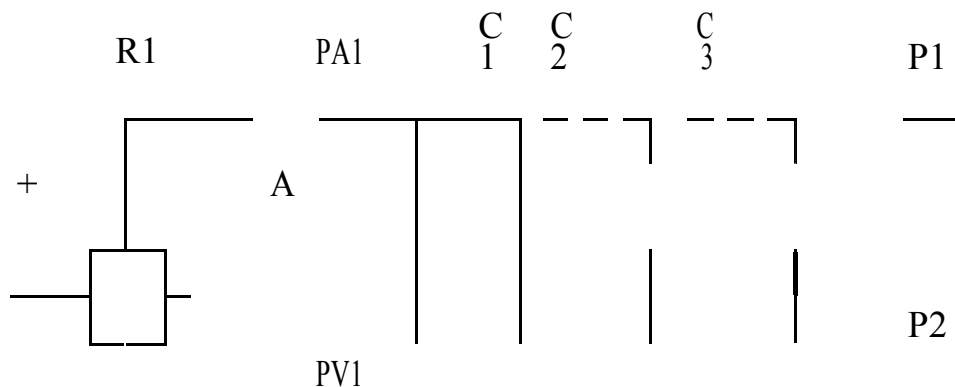


Рисунок 4.1 - Схема стенда для испытания электродвигателя с фазным ротором





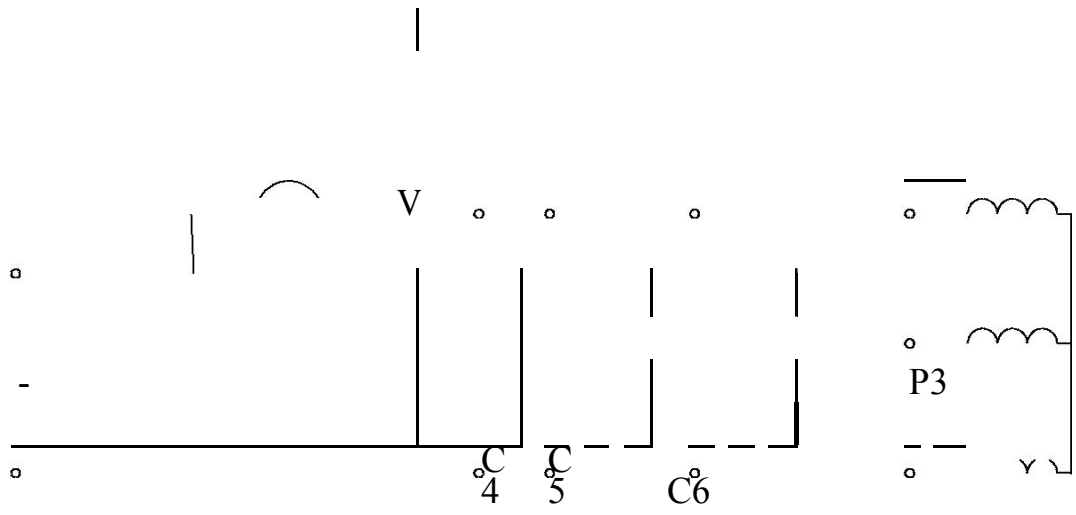
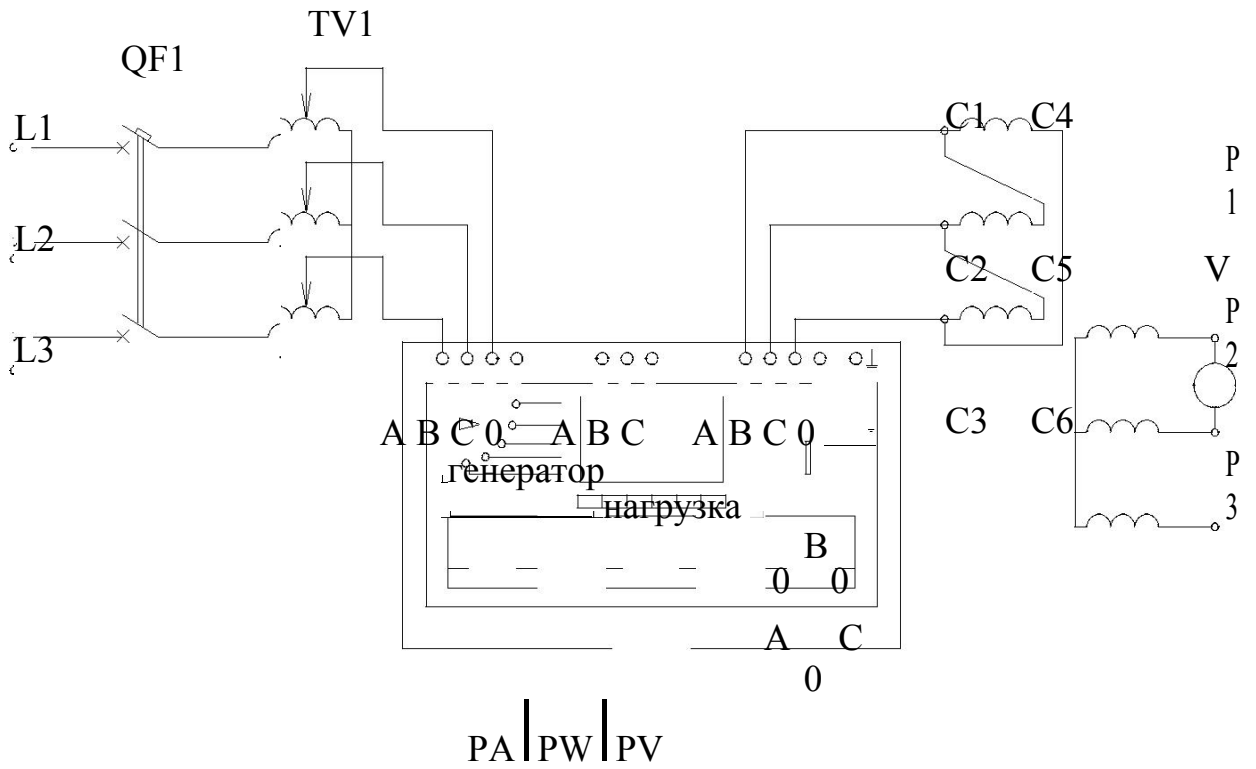
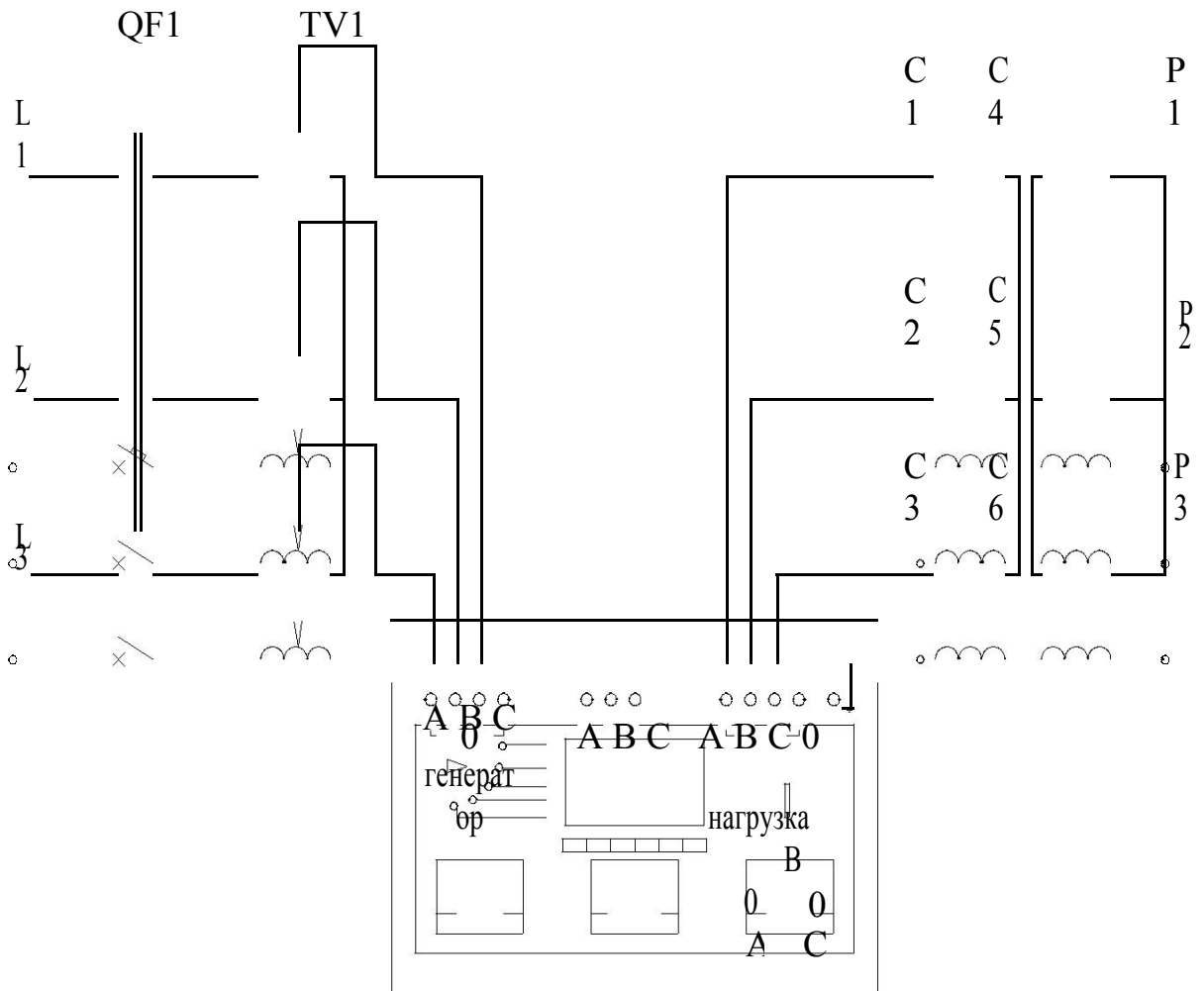


Рисунок 4.2 - Измерение сопротивления фаз постоянному току



K505

Рисунок 4.3 – Определение коэффициента трансформации двигателя с фазным ротором



0  
РА PW PV

K505

Рисунок 4.4 - Опыт короткого замыкания двигателя с фазным ротором

Практическая работа №5  
ИСПЫТАНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ СИЛОВЫХ  
ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОСЛЕ РЕМОНТА

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучить и освоить методику проведения послеремонтных испытаний трехфазных силовых трансформаторов.

Задача лабораторной работы: научиться проводить послеремонтные испытания трехфазных силовых трансформаторов.

**ПРОГРАММА РАБОТЫ:**

1. Провести внешний осмотр силового трансформатора.
2. Измерить сопротивление изоляции.
3. Проверить коэффициент трансформации на всех ответвлениях обмоток.
4. Проверить группу соединения обмоток трансформатора.
5. Измерить сопротивления обмоток трансформатора постоянному току.
6. Провести испытание электрической прочности пробы трансформаторного масла.
7. Провести испытание электрической прочности главной и продольной изоляции.
8. Определить потери и ток холостого хода силового трансформатора и сравнить их с допустимыми значениями.
9. Определить напряжение и потери короткого замыкания.
10. Изучить методику проведения испытания бака силового трансформатора и уплотнений на плотность.
11. Провести анализ данных, полученных в результате испытаний, и сделать выводы.

**ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Согласно ГОСТ 11677-85, в объем контрольных испытаний после проведения капитального ремонта входят следующие операции: проверка коэффициента трансформации на всех ответвлениях обмоток; проверка группы соединения обмоток трансформатора; измерение сопротивления обмоток трансформатора постоянному току; испытание электрической прочности пробы трансформаторного масла; измерение сопротивления изоляции; испытание электрической прочности изоляции; измерение потерь и тока холостого хода силового трансформатора; измерение напряжения и потерь короткого замыкания; испытания бака силового трансформатора и уплотнений на плотность.

Рассмотрим методику выполнения этих операций более подробно.

Коэффициент трансформации определяют как отношение линейного напряжения с высокой стороны к линейному напряжению с низкой стороны

$K_{трЛ} = \frac{U_{л.вн.}}{U_{л.нн.}}$ , где  $U_{л.вн.}$  - линейное напряжение с высокой стороны, В;  $U_{л.нн.}$  - линейное напряжение с низкой стороны, В.

Согласно ГОСТ 11677-85, допускается отклонение измеренного коэффициента трансформации от расчетного значения не более чем на 1% для трансформаторов с фазным коэффициентом трансформации 3 и ниже, и не более чем на 0,5% для трансформаторов с фазным коэффициентом трансформации более 3. Для определения коэффициента трансформации существуют методы: двух вольтметров; моста переменного тока; моста постоянного тока; эталонного (стандартного) трансформатора.

Группы соединения обмоток силовых трансформаторов в условиях ремонтной базы можно проверить при помощи метода "двух вольтметров". Для проверки групп соединений обмоток силового трансформатора соберем схему, приведенную на рисунке 5.1.

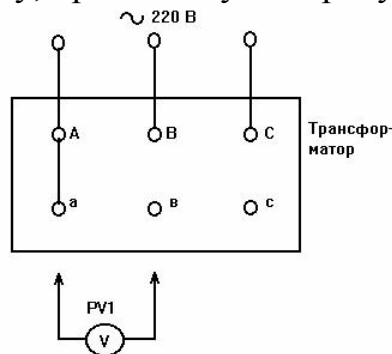


Рисунок 5.1 - Схема проверки группы соединения обмоток силовых трансформаторов методом "двух вольтметров"

Между выводами "А" и "а" на трехфазных трансформаторах устанавливают перемычку "Аа", а к выводам А, В, С обмотки высокого напряжения подводят симметричное по фазам напряжение в диапазоне от 100 до 200 В. После этого необходимо измерить следующие напряжения:  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$ ,  $U_{Bb}$ ,  $U_{Cc}$ ,  $U_{Ca}$ . Полученные значения этих напряжений в зависимости от группы соединений могут быть больше (б), равны (р) или меньше (м) так называемого условного напряжения, рассчитанного по формуле

$U_{усл} = U_{нн} \cdot \sqrt{K_{трЛ}^2 - 1}$ , где  $U_{нн}$  - линейное напряжение на выводах обмотки низкого напряжения при опыте, оно может быть измерено или рассчитано по

формуле:  $U_{нн} = \frac{U_{пр}}{K_{трЛ}}$ , где  $U_{пр}$  - напряжение, подведенное к линейным вы-

водам первичной обмотки:  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$  и  $U_{CA}$ , измеренное при опыте, В.

Сравнивая полученные результаты последовательностей расположения измеренных напряжений  $U_{Bb}$ ,  $U_{Cc}$ ,  $U_{Ca}$  с так называемым условным напряжением  $U_{усл}$ , по таблице 5.1 выбираем группу соединения обмоток трансформатора.

Таблица 5.1 - Группы соединения обмоток силовых трансформаторов

Группа соединения обмоток	Угловое смещение э.д.с.	Возможные схемы соединения обмоток	Векторная диаграмма э.д.с.	Сравнение измеренных значений напряжений с $U_{\text{исл}}$			
				UBB	UBC	UCB	UCB
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0°	Y/Y, Δ/Δ, Δ/Y		м	м	м	м
1	30°	Y/Δ, Δ/Y, Y/Y		м	р	м	м
2	60°	Y/Y, Δ/Δ, Δ/Y		м	б	м	м
3	90°	Y/Δ, Δ/Y, Y/Y		р	б	р	м
4	120°	Y/Y, Δ/Δ, Δ/Y		б	б	б	м
5	150°	Y/Δ, Δ/Y, Y/Y		б	б	б	р
6	180°	Y/Y, Δ/Δ, Δ/Y		б	б	б	б
7	210°	Y/Δ, Δ/Y, Y/Y		б	р	б	б
8	240°	Y/Y, Δ/Δ, Δ/Y		б	м	б	б
9	270°	Y/Δ, Δ/Y, Y/Y		р	м	р	б
10	300°	Y/Y, Δ/Δ, Δ/Y		м	м	м	б
11	330°	Y/Δ, Δ/Y, Y/Y		м	м	м	р

Сопротивление обмоток постоянному току измеряют для всех доступных ответвлений обмоток всех фаз. При контрольных испытаниях силовых трансформаторов наиболее удобен метод "амперметра и вольтметра". Проводя измерения, необходимо учитывать следующее: сила постоянного тока не должна превышать 20% от номинального тока обмотки трансформатора; температура обмотки не должна отличаться от температуры окружающей среды более чем на 5°С; если обмотку можно разъединить, то необходимо измерять сопротивление каждой фазы.

Если три фазы обмотки соединены в звезду внутри трансформатора, то необходимо измерить сопротивление двух последовательно соединенных фаз

между каждой парой выводных концов.



Пусть  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  - действительные значения сопротивлений фаз трансформатора, а  $R_{12}$ ,  $R_{23}$  и  $R_{31}$  - результаты измерений, проведенных между выводами 1 и 2, 2 и 3, 3 и 1, тогда

$$R_{12}=R_1+R_2; R_{23}=R_2+R_3; R_{31}=R_3+R_1.$$

Совместное решение этой системы уравнений относительно известных значений  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  дает

$$R_1 = \frac{R_{12} R_{31} R_{23}}{2}; R_2 = \frac{R_{12} R_{23} R_{31}}{2}; R_3 = \frac{R_{23} R_{31} R_{12}}{2}.$$

При соединении трех фаз обмотки внутри трансформатора в треугольник сопротивление измеряется между каждой парой выводных концов. Тогда сопротивление фаз обмотки трансформатора можно определить из следующих выражений

$$R_1 = 0,5 \frac{4 R_{23} R_{31}}{R_{23} R_{31} R_{12}};$$

$$R_2 = 0,5 \frac{4 R_{31} R_{12}}{R_{31} R_{12} R_{23}};$$

$$R_3 = 0,5 \frac{4 R_{12} R_{23}}{R_{12} R_{23} R_{31}}.$$

При проведении контрольных испытаний достаточно сделать один замер для каждой цепи. Сопротивления обмоток отдельных фаз не должны отличаться друг от друга более чем на 3% [4], или согласно ПТЭ, не более чем на 2% от их расчетных значений.

При измерении сопротивления фаз обмоток можно выявить следующие неисправности: обрыв в параллельных ветвях; неправильное соединение схемы. Если сравнить полученные значения с каталожными данными, то можно определить: соответствие числа витков и сечения провода номинальным данным. В этом случае сопротивления фаз одинаковы и соответствуют каталожным данным; наличие большого числа замкнутых витков в отдельных катушках. В этом случае сопротивления по фазам будут разными; качество паек. При плохом качестве паек сопротивления по фазам будут разными.

Испытание электрической прочности пробы трансформаторного масла проводят аппаратами типа АМИ-60 или аналогичными.

Различают два типа трансформаторных масел: свежее или регенерированное сухое и эксплуатационное. Требования к этим типам масел различны. В трансформатор заливают свежее или регенерированное трансформаторное

масло. В процессе эксплуатации его качество ухудшается. При воздействии повышенной температуры, воздуха (особенно озона), влаги и соприкосновения масла с металлами в нем возникают продукты распада. Из соломенно-желтого оно становится более темным, нем появляются механические примеси, взвешенный углерод, кислоты, смолы - масло стареет. Чаще всего вода в масле может быть в виде мельчайших взвешенных частиц (эмульсии) и в виде избыточной воды, которая не смешивается с маслом и осаждается на дне бака (сосуда). Примесь воды даже в количестве 0,01% (особенно в виде

эмульсии) снижает электрическую прочность масла настолько, что делает его практически непригодным для работы в электрических аппаратах.

Появление волокнистых примесей в еще большей степени снижает электрическую прочность масла. Эти примеси более гигроскопичны, чем масло и, впитывая в себя влагу, становятся полупроводящими частицами. Взвешенный углерод является хорошим проводником. Частицы угля, оседающие на изоляторах или других, погруженных в масло деталях, создают проводящие слои, которые могут явиться причиной перекрытий и коротких замыканий.

При соприкосновении с воздухом трансформаторное масло быстро окисляется. Растворенные в нем кислоты действуют на твердую органическую изоляцию аппарата (бумага, картон, пряжа и др.) и металлы. Осадки могут по-крыть сплошным слоем выемную часть трансформатора, что ухудшит усло-вия ее охлаждения и приведет к повышению температуры обмотки и, как следствие, к ее ускоренному износу. При этом продукты начавшегося старе-ния изоляции ускоряют и процесс старения самого масла. Масло, качество ко-торого снизилось вследствие старения и загрязнения, может быть очищено и восстановлено. Очищенное и находящееся в эксплуатации масло подвергается лабораторным испытаниям. Различают два вида испытаний эксплуатационно-го трансформаторного масла: на пробой; сокращенный анализ.

В объем испытаний на пробой входит: определение электрической прочности; определение наличия механических примесей; определение со-держания взвешенного углерода; определение содержания воды в трансфор-маторном масле.

При сокращенном анализе дополнительно определяют: температу-ру вспышки трансформаторного масла; содержание органических кислот; наличие водо-растворимых кислот и щелочей.

Согласно Правилам технической эксплуатации электроустановок по-требителей трансформаторное масло, находящееся в эксплуатации, должно подвергаться лабораторным испытаниям в следующие сроки: не реже одного раза в три года для трансформаторов, работающих с термосифонными фильтрами (сокращенный анализ); один раз в год для трансформаторов, ра-ботающих без термосифонных фильтров (сокращенный анализ); после капи-тальных ремонтов трансформаторов.

Допустимые значения основных показателей качества свежего или ре-генерированного сухого и эксплуатационного трансформаторного масел приведены в таблице 5.2.

Методика определения электрической прочности трансформаторного масла стандартизирована. При этом следует выполнить следующие условия: использовать при проведении испытаний латунные или медные шлифован-ные полусферические электроды диаметром 25 мм; разрядный промежуток должен быть равен 2,5 мм; объем испытуемого масла должен быть от 100 до

200 см<sup>3</sup>; напряжение при испытании следует поднимать со скоростью от 1 до 1,5 кВ/с; использовать совершенно чистые и сухие сосуды и электроды; после протирки не касаться их внутренней поверхности; пробу масла для испы-

таний следует брать в абсолютно чистую сухую стеклянную или алюминиевую посуду, закрывать которую следует корковой или притертой стеклянной пробкой. При взятии пробы необходимо сначала дать стечь некоторому количеству масла, чтобы удалить отстой; делать шесть пробоев, первый из которых не учитывать при расчете среднего значения пробивного напряжения; момент наступления пробоя следует устанавливать по возникновению непрерывной электрической дуги между электродами, а не по единичному проскакиванию искр. Электрическая принципиальная схема маслопробойника приведена на рисунке 5.2.

Таблица 5.2 - Основные показатели качества трансформаторного масла

Показатели качества трансформаторного масла	Допустимые значения	
	для свежего или регенерированного масла	для эксплуатационного масла
1	2	3
Максимальное пробивное напряжение масла (кВ), определяемое в стандартном сосуде, для трансформаторов, аппаратов и изоляторов с напряжением до:		
15 кВ включительно	25 кВ	20 кВ
от 15 до 35 кВ.	30 кВ	25 кВ
Содержание механических примесей (визуально).	Отсутствие	Отсутствие
Кислотное число, мГ КОН на 1 Г масла, не более.	0,25 мГ	0,25 мГ
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле.	не менее 135°С	Снижение температуры вспышки не более чем на 5°С от первоначальной

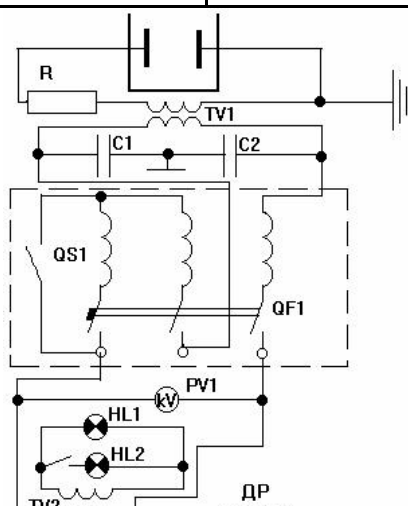


Рисунок 5.2 - Принципиальная электрическая схема маслопробойника

Напряжение сети через блок-контакты БК и предохранители F1, F2, F3 подводится к регулировочному автотрансформатору TV3, предназначенному

для плавного изменения напряжения. Высокое напряжение включается автоматическим выключателем QF1, который имеет три обмотки; две из них соединены последовательно, а одна шунтирована переключателем защиты QS1. При разомкнутом положении этого переключателя защита чувствительна, и автоматический выключатель QF1 срабатывает при пробое. Когда переключатель QS1 замкнут, защита грубая, и автоматический выключатель не срабатывает при коротком замыкании на высокой стороне и остается включенным. Если мощность на стороне высокого напряжения при 50 кВ не превосходит 2 кВА, длительность этого режима не должна превышать 1 минуты. Напряжение на образце измеряют вольтметром PV1 на стороне низкого напряжения. Конденсаторы C1 и C2 предназначены для защиты первичной обмотки трансформатора TV1 от перенапряжения. Высоковольтный трансформатор TV1 100В/50кВ мощностью 2 кВА имеет один заземленный вывод вторичной обмотки. При синусоидальной форме кривой питающего напряжения вторичное напряжение в режиме холостого хода отличается от синусоидального не более чем на 5%. Сопротивление R защищает трансформатор TV1 от перегрузки при пробое образца. В установке имеется сосуд с электродами стандартного типа для испытания жидких диэлектриков.

Сопротивление изоляции трансформатора измеряют мегаомметром на 2500 В. Измерения сопротивления изоляции обмоток проводят поочередно для обмоток каждого из напряжений относительно корпуса. Сопротивление изоляции для трансформаторов с классом обмотки высшего напряжения 10 кВ должно быть не ниже значений приведенных в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Сопротивление изоляции для трансформаторов с классом обмотки высокого напряжения 10 кВ

Температура обмотки, °С	10	20	30	40	50	60	70
Сопротивление изоляции, МОм	450	300	200	130	90	60	40

Объективным показателем оценки состояния изоляции с точки зрения увлажнения является коэффициент абсорбции. Это отношение сопротивления изоляции, измеренного через 60 секунд, к сопротивлению изоляции, измеренному через 15 секунд, т.е.  $K_{\text{абс}} = \frac{R_{\text{из60}}}{R_{\text{из15}}}$ . Для сухой изоляции коэффициент абсорбции должен быть больше или равен 1,3.

Рекомендуется давать оценку состоянию изоляции, сравнивая результаты измерения с предыдущими исходными данными, приведенными к одной температуре. Например, если полученные результаты измерений отличаются от исходных данных более чем на 30% то это означает, что изоляция трансформатора увлажнена, и ее следует срочно просушить.

При отсутствии исходных данных можно использовать ориентировоч-

ные среднеэксплуатационные данные минимально допустимых значений сопротивления изоляции (таблица 5.3).



Испытание электрической прочности изоляции трансформатора, согласно ГОСТ 11677-85, можно проводить двумя методами. Главную изоляцию трансформатора (изоляцию между обмотками) испытывают повышенным напряжением промышленной частоты. При этом испытательное напряжение прикладывают между испытуемой обмоткой, замкнутой накоротко, и заземленным баком, с которым соединены все другие обмотки трансформатора и его магнитопровод. Схема испытания электрической прочности главной изоляции приведена на рисунке 5.3.

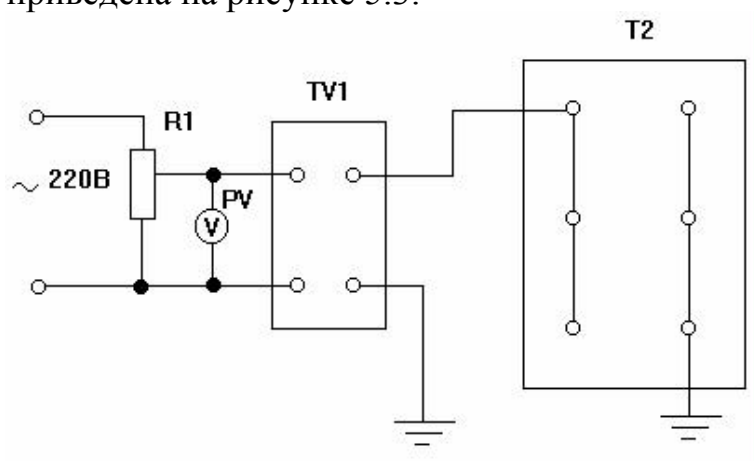


Рисунок 5.3 - Схема испытания электрической прочности главной изоляции трансформатора: TV1 - испытательный трансформатор; T2 - испытуемый трансформатор

Испытания проводят при температуре верхних слоев масла равной +20 С и не ранее чем через 10...20 часов после заливки масла. Первоначально испытывают обмотку низкого напряжения (НН), а затем обмотку высокого напряжения (ВН). Напряжение плавно поднимают от нуля до полного испытательного. Испытательное напряжение выдерживают в течение одной минуты с момента его установления, а затем плавно снижают. Трансформатор считается выдержавшим испытание, если во время приложения повышенного напряжения не произошло: пробоя изоляции; выделения паров; снижения испытательного напряжения.

Испытание продольной изоляции трансформатора (изоляция между витками, слоями и отдельными секциями) проводят индуктированным в самом трансформаторе повышенным напряжением. Эти испытания проводят в режиме холостого хода, подавая на выводы одной из обмоток (обычно на выводы обмотки низкого напряжения) в течение одной минуты напряжение, равное  $1,3U_{н}$ . Схема проведения испытаний продольной изоляции приведена на рисунке 5.4.

Ток и потери холостого хода трансформатора определяют при опыте холостого хода. При этом к обмотке низкого напряжения подводят практически синусоидальное и симметричное напряжение, линейные напряжения не должны отличаться от среднеарифметического значения более чем на 4,5%.

Для трехфазного силового трансформатора ток холостого хода измеряют тремя амперметрами, а потери мощности - двумя ваттметрами. Схема

опыта холостого хода приведена на рисунке 5.5.

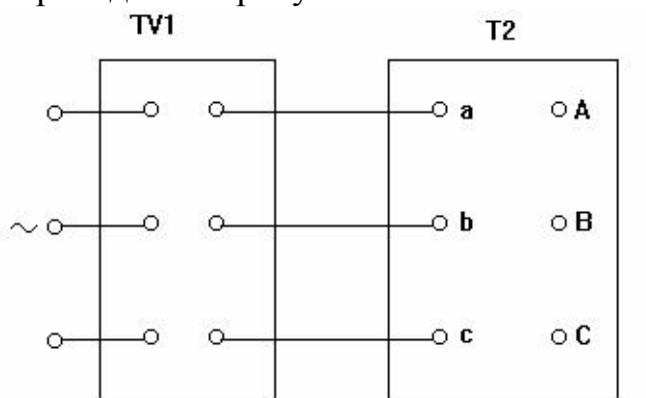


Рисунок 5.4 - Схема испытания продольной изоляции трансформатора: TV1 - испытательный трансформатор; T2 - испытуемый трансформатор

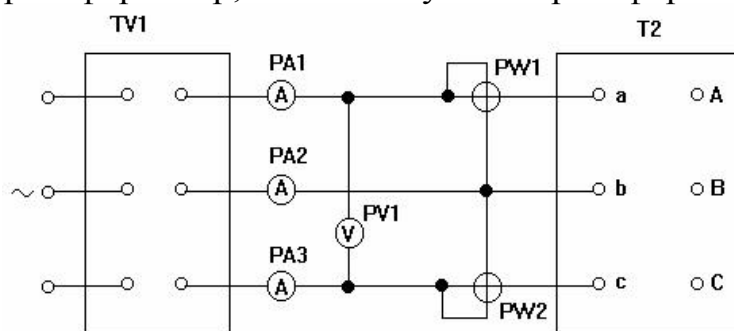


Рисунок 5.5 - Схема проведения опыта холостого хода: TV1 - испытательный трансформатор; T2 - испытуемый трансформатор

Результаты измерения считаются удовлетворительными, если сила тока холостого хода не превышает более чем на 30%, а потери мощности - более чем на 15% их нормированные значения.

Потери мощности и напряжение короткого замыкания определяют при проведении опыта короткого замыкания. При этом одну из обмоток, обычно обмотку низкого напряжения, замыкают накоротко, а к другой обмотке подводят такое трехфазное напряжение номинальной частоты, чтобы по обеим обмоткам протекал номинальный ток. Схема опыта короткого замыкания приведена на рисунке 5.6.

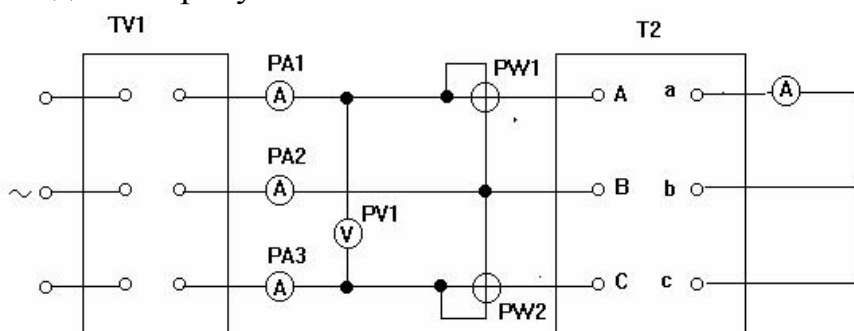


Рисунок 5.6 - Схема проведения опыта короткого замыкания: TV1 - испытательный трансформатор; T2 - испытуемый трансформатор

В трехфазных трансформаторах ток и напряжение определяют как сред-

неарифметическое показание приборов установленных во всех трех фазах.

Измеренные потери короткого замыкания приводят к рабочей темпера-

туре ( $75^{\circ}\text{C}$ ) по формуле  $P = P_{\text{кн}} k_t$ , где  $k_t = \frac{310}{235 t^{\circ}}$  - для трансформаторов с

медной обмоткой;  $k_t = \frac{320}{245 t^{\circ}}$  - для трансформаторов с алюминиевой об-

моткой;  $t^{\circ}$  - температура верхних слоев масла (обмоток) при опыте, С;  $P_{\text{кн}}$ ,  $P_{\text{к}}$  - мощности короткого замыкания при номинальном напряжении и полученная в результате измерения, соответственно.

Напряжение короткого замыкания приводят к номинальной температуре ( $75^{\circ}\text{C}$ ) по формуле  $U_{\text{к}75} = \sqrt{U_{\text{ат}}^2 k_t^2 U_{\text{р}}^2}$ , где  $U_{\text{ат}}$ ,  $U_{\text{р}}$  - активная и реактивная составляющие напряжения при температуре  $t^{\circ}$ , %; или определяют по

формуле  $U_{\text{к}75} = U_{\text{к}} \sqrt{\frac{P_{\text{к}} t}{10 S}}$ , где  $U_{\text{к}}$  - напряжение короткого замы-

кания, измеренное при температуре  $t^{\circ}$ , в процентах от номинального напряжения;  $P_{\text{к}}$  - потери мощности короткого замыкания, измеренные при температуре  $t$ , Вт;  $S$  - номинальная мощность трансформатора, кВА.

Согласно ГОСТ 11677-85, допускается отклонение значений напряжения короткого замыкания и потерь короткого замыкания от существующих норм не более чем на 10%.

Испытание бака и уплотнений на плотность проводят для выявления течи в уплотнениях крышки, в арматуре и сварных швах бака при полностью собранном трансформаторе. Для этой цели на бак трансформатора устанавливают контрольную трубку высотой 1,5 м, заполненную маслом, трансформатор тщательно вытирают и выдерживают в течение часа. При этом температура масла должна быть не ниже  $+10^{\circ}\text{C}$ . Результат испытаний считается удовлетворительным, если по истечении указанного срока в уплотнениях и швах не обнаружено течи масла.

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Внешний осмотр силового трансформатора производят, обращая внимание на: уровень масла; состояние бака, его сварных швов, уплотнений; неисправности работы маслоуказателя, сливного крана и др.; состояние вво-дов переключающего устройства.

Все дефекты, обнаруженные в процессе внешнего осмотра, фиксируются. После этого делается вывод о качестве проведенного ремонта.

2. Измерение сопротивления изоляции трансформатора

проводят мегаомметром на 2500 В. Измеряют поочередно сопротивление изоляции обмоток каждого напряжения относительно корпуса, при этом те обмотки, измерение сопротивления изоляции которых не производится, должны быть заземлены. Для каждой из обмоток измерения производят через 15 и 60 се-

кунд. Результаты измерений следует занести в таблицы 5.4 и 5.5.

Таблица 5.4 - Результаты измерений проведенных через 15 секунд

Объект измерения	Сопротивление изоляции между обмоткой и корпусом, МОм.			Сопротивление изоляции между фазами, МОм.		
	$R_1$	$R_2$	$R_3$	R1-3	R1-2	R2-3
Высокое напряжение						
Низкое напряжение						

Таблица 5.5 - Результаты измерений проведенных через 60 секунд

Объект измерения	Сопротивление изоляции между обмоткой и корпусом, МОм			Сопротивление изоляции между фазами, МОм		
	$R_1$	$R_2$	$R_3$	R1-3	R1-2	R2-3
Высокое напряжение						
Низкое напряжение						

В таблицу 5.6 следует привести результаты расчетов коэффициентов абсорбции для каждой из обмоток и сделать выводы о состоянии изоляции.

Таблица 5.6 - Результаты расчетов коэффициентов абсорбции

Объект измерения	Значение коэффициента абсорбции для каждого измерения, $K_{abc}$						Выводы о состоянии изоляции
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	K1-2	K1-3	K2-3	
Высокое напряжение							
Низкое напряжение							

3. Проверить коэффициент трансформации на всех ответвлениях обмоток.

На рисунке 5.7 приведена схема определения коэффициента трансформации трехфазного трансформатора по методу двух вольтметров.

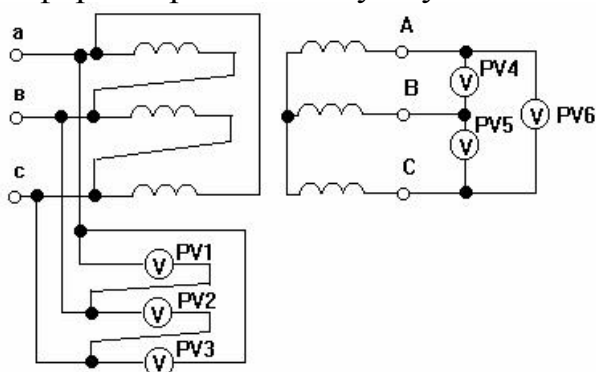


Рисунок 5.7 - Определение коэффициента трансформации  
трехфазного трансформатора по методу двух вольтметров

К обмотке низкого напряжения подводится 100 В если напряжение на обмотке (НН) не превышает 2000 В, и к ней подводится 200 В, если на-

пряжение на обмотке НН более 2000В. Результаты измерений заносят в таблицу 5.7.

Таблица 5.7 - Результаты опыта по определению коэффициента трансформации

№	U <sub>AB</sub>	U <sub>BC</sub>	U <sub>C</sub> A	U <sub>ав</sub>	U <sub>вс</sub>	U <sub>са</sub>	K1ф	K2ф	K3ф
-	В	В	В	В	В	В	-	-	-
1									
2									
3									

Расчет коэффициентов трансформации "K<sub>иф</sub>" ведется по формулам

$$K_1 = \frac{U_A}{U_{ав}}; K_2 = \frac{U_B}{U_{вс}}; K_3 = \frac{U_C}{U_{са}}$$

Результаты полученных измерений не должны отличаться от расчетных более чем на +0,5%. Измерения должны проводиться приборами классов точности 0,5 или 0,2, шкала которых позволяет брать отсчет с точностью до 0,2%. Кроме того, снятие отсчета показаний по обоим вольтметрам следует производить одновременно.

4. Проверить группу соединения обмоток трансформатора. Группу соединения обмоток силовых трансформаторов в условиях ремонтной базы можно проверить при помощи метода "двух вольтметров". Для проверки групп соединений обмоток силового трансформатора необходимо собрать схему, приведенную на рисунке 5.1. Результаты измерений следует занести в таблицу 5.8.

Таблица 5.8 - Результаты измерений при определении групп соединений обмоток

U <sub>AB</sub>	U <sub>BC</sub>	U <sub>CA</sub>	U <sub>ВВ</sub>	U <sub>Вс</sub>	U <sub>Сс</sub>	U <sub>Св</sub>	Примечание
В	В	В	В	В	В	В	-

5. Измерить сопротивления обмоток трансформатора постоянному току. Сопротивление фазных обмоток низкого и высокого напряжений постоянному току измеряют для всех доступных ответвлений. Измерения производят методом "амперметра и вольтметра". Во избежание нагрева обмотки и внесения ошибок в результаты измерений ток при измерениях не должен превышать 20% номинального тока обмотки. Результаты измерений заносятся в таблицу 5.9. При измерении делают не менее трех повторов. При соединении фаз звездой  $R_{\phi} = 0,5R_{изм}$ . При



соединении фаз в треугольник

$$R_{\phi} = 1,5R_{\text{изм.}}$$

Результаты измерений считаются удовлетворительными, если фазные значения сопротивлений отличаются друг от друга не более чем на + 5%. Измеренные значения сопротивлений приводят к расчетной температуре 75°C

$R_{75} = \frac{235 t_{75}}{235 t_{изм}}$ , где  $t_{изм}$  - температура, при которой измерялось сопротивление фазы  $R_{\phi}$ .

Таблица 5.9 - Результаты измерения сопротивления фазных обмоток

№	Высокое напряжение					Низкое напряжение				
	U	I	R <sub>изм</sub>	R <sub>φ</sub>	R75	U	I	R <sub>изм</sub>	R <sub>φ</sub>	R75
	В	А	Ом	Ом	Ом	В	А	Ом	Ом	Ом

6. Провести испытание электрической прочности пробы трансформаторного масла. Испытания электрической прочности пробы трансформаторного масла производят в следующей последовательности:

- Знакомятся со схемой (рисунок 35) и работой аппарата.
- Устанавливают требуемый зазор между электродами, промывают сосуд чистым трансформаторным маслом, заполняют его маслом до уровня выше электродов на 15 мм (что соответствует объему масла в 100...200см<sup>3</sup>), закрывают крышку.
- Заземляют корпус шкафа, ставят регулятор напряжения в положение, соответствующее наименьшему напряжению, делают паузу продолжительностью 10 минут для удаления пузырьков воздуха из масла.
- Включают аппарат в сеть, при этом загорается зеленая сигнальная лампочка HL1.
- Плавно повышают напряжение на электродах до пробоя масла. Во время пробоя между электродами образуется сплошная ярко светящаяся дуга, показания вольтметра PV1 падают до нуля, и автоматический выключатель максимального тока QF1 отключает установку. После пробоя регулятор напряжения снова ставят в нулевое положение.
- Следующие пять пробоев для данного образца масла проводят с интервалом между ними в 5 минут при той же последовательности. При этом после каждого пробоя (КОГДА УСТАНОВКА ОТКЛЮЧЕНА) чистой стеклянной палочкой, которая хранится в чистом масле, удаляют с электродов образовавшиеся при пробое частицы углерода и пузырьки газа.
- Результаты испытаний необходимо занести в таблицу 5.10.

Таблица 5.10 - Результаты испытания электрической прочности пробы трансформаторного масла

Номер испытания	1	2	3	4	5	6
Напряжение пробоя, кВ						

- По последним пяти пробам определяют среднее арифметическое

значение электрической прочности трансформаторного масла и делают вывод о его электрической прочности.

7. Провести испытание электрической прочности главной и продольной изоляции. Для испытания электрической прочности главной изоляции необходимо собрать схему, приведенную на рисунке 5.3. Схема проведения испытаний продольной изоляции приведена на рисунке 5.4. Методика проведения испытаний электрической прочности главной и продольной изоляции изложена ранее. Результаты испытаний необходимо занести в таблицу 5.11.

Таблица 5.11 - Результаты испытания электрической прочности главной и продольной изоляции Вид изоляции Результат испытаний

Главная изоляция	
Продольная изоляция	

8. Определить потери и ток холостого хода силового трансформатора и сравнить их с допустимыми значениями. Для определения тока и потерь холостого хода силового трансформатора необходимо собрать схему, приведенную на рисунок 5.5. Результаты испытаний заносятся в таблицу 5.12.

Таблица 5.12 - Результаты опыта холостого хода

$U_{\text{л}}$	$I_{\text{A}}$	$I_{\text{B}}$	$I_{\text{C}}$	$I_{\text{ср}}$	$P_1$	$P_2$	$P_{\text{хх}}$	Примечание
В	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	

9. Определить напряжение и потери короткого замыкания. Для проведения опыта короткого замыкания необходимо собрать схему, приведенную на рисунке 5.6. Результаты испытаний заносятся в таблицу 5.13.

Таблица 5.13 - Результаты опыта короткого замыкания

Измеренные значения						Расчетные значения			
$U_{\text{кз}}$	$I_{\text{A}}$	$I_{\text{B}}$	$I_{\text{C}}$	$P_1$	$P_2$	$P_{\text{кз}}$	$P_{\text{кн}}$	$U_{\text{к75}}$	$U_{\text{к75}}$
В	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	%	%

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать сведения о методике проведения послеремонтных испытаний трехфазных силовых трансформаторов, сведения о неисправностях которые могут быть выявлены в ходе послеремонтных испытаний, схемы, результаты проведения экспериментов, общие выводы по результатам, полученным в ходе выполнения лабораторной работы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Перечислите типы трансформаторных масел. Как по цвету отличить свежее масло от масла, бывшего в эксплуатации? Как влияет наличие влаги

на электрическую прочность трансформаторного масла? В каком виде может находиться вода в трансформаторном масле? Какова предельно допустимая концентрация воды в трансформаторном масле? Как влияет на качество трансформаторного масла наличие в нем волокнистых примесей? Как влияет на качество трансформаторного масла наличие в нем взвешенных частиц углерода? Какие виды испытаний эксплуатационного трансформаторного масла вы знаете? Перечислите операции, входящие в объем испытаний на пробой. Перечислите операции, выполняемые при сокращенном анализе трансформаторного масла. Какие условия следует выполнять при проведении испытаний электрической прочности пробы масла? Изоляцию, между какими элементами силового трансформатора называют главной? Какие виды испытаний трансформаторного масла вы знаете? Что входит в объем испытаний трансформаторного масла на пробой? Перечислите операции, выполняемые при сокращенном анализе трансформаторного масла. Укажите сроки проведения лабораторных испытаний трансформаторного масла. Перечислите условия, при которых можно производить испытания электрической прочности изоляции. В каких случаях трансформатор считается выдержавшим испытания электрической прочности изоляции? В каких случаях трансформатор считается не выдержавшим испытания электрической прочности главной изоляции? Опишите методику проведения испытаний продольной изоляции трансформатора. Опишите методику проведения опыта холостого хода. Какие отклонения напряжения и потерь короткого замыкания допускаются согласно ГОСТа? Опишите методику проведения опыта короткого замыкания. Опишите методику проведения испытания бака и уплотнений на плотность. Для определения каких неисправностей проводят испытания бака и уплотнений на плотность?

## ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

1. Подавать на стенд напряжение, без проверки правильности сборки схем и разрешения преподавателя, категорически запрещается.
2. Соблюдать правила работы с мегаомметром.
3. Не оставлять включенный стенд без присмотра.
4. При работе с трансформаторным маслом необходимо помнить, что Вы работаете с высоким напряжением.
5. Необходимо соблюдать правила техники безопасности при работе в электроустановках напряжением выше 1000 В.
6. О замеченных неисправностях необходимо сразу ставить в извест-

ность преподавателя или лаборанта, самостоятельно устранять неисправности запрещается.

Практическая работа №6  
ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛЬНЫХ ДАННЫХ  
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСЛЕ РЕМОНТА

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучить и освоить методику опытного определения номинальных данных асинхронного электродвигателя.

Задача лабораторной работы: научиться определять номинальные данные асинхронного двигателя при отсутствии таблички.

**ПРОГРАММА РАБОТЫ:**

1. При помощи мегаомметра проверить сопротивление изоляции относительно корпуса и между фазами.
2. Проверить целостность фазных обмоток любым известным вам способом.
3. Определить номинальное напряжение асинхронного электродвигателя.
4. Определить номинальное значение тока холостого хода электродвигателя ( $I_{xx}$ ) и число полюсов обмотки.
5. Рассчитать ориентировочные значения полезной мощности на валу ( $P_{2н}$ ), частоты вращения поля статора ( $n_1$ ), коэффициента полезного действия ( $\eta$ ) и коэффициента мощности ( $\cos \phi$ ).
6. Снять экспериментальную кривую нагрева электродвигателя и уточнить номинальное значение потребляемого тока ( $I_n$ ), потребляемой мощности ( $P_{1н}$ ) и коэффициента мощности ( $\cos \phi$ ).
7. На основании полученных данных сделать выводы по проделанной работе, в которых следует оценить удобство предложенной методики и полученные паспортные данные испытуемого электродвигателя.

**ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Часто в процессе капитального ремонта, транспортировки, хранения и эксплуатации теряются паспортные таблички, установленные на корпусе электродвигателя. Для обоснованного и правильного выбора электродвигателя с целью привода любой рабочей машины или механизма нам необходимо знать не только приводные характеристики рабочей машины, но и номинальные данные электродвигателя. К ним, прежде всего, относятся номинальная (полезная) мощность и номинальный момент.

Номинальной или полезной мощностью называется мощность, на которую рассчитан электродвигатель по условиям нагрева и длительной безотказной работы.

Все величины, характеризующие работу электродвигателя при номинальной мощности, называются номинальными.

На паспорте электродвигателя приводятся следующие данные: тип



электродвигателя (например, 4А160М4У3); число фаз (m); частота тока, Гц

(f); полезная мощность на валу, кВт ( $P_n$ ); линейное напряжение, В ( $U_n$ ); схема сопряжения фаз (Y или  $\Delta$ ); линейный ток, А ( $I_n$ ); коэффициент полезного действия,  $\eta$ ; коэффициент мощности, ( $\cos \phi$ ); частота вращения ротора, об/мин ( $n_n$ ); режим работы (S1, S2, S3, S4 и т.д.); класс изоляции (Y, A, E, B, F и т.д.); завод изготовитель; год выпуска и масса электродвигателя.

Электрические величины, перечисленные в паспортной табличке, связаны между собой следующим выражением  $P_n = \sqrt{3} U_n I_n \cos \phi \eta$  [Вт], где  $P_n$  - полезная мощность на валу электродвигателя.

Полезная мощность на валу электродвигателя ( $P_n$ ), на которую он рассчитан по условиям нагрева, определяется классом нагревостойкости обмоточных проводов и изоляционных материалов, используемых для пазовой изоляции. Электродвигатели серии 4А с высотой оси вращения до 132 мм выпускаются с классом нагревостойкости "В". В этих электродвигателях для пазовой изоляции применяется литая полиэтиленовая пленка марки ПЭТ-Э (ГОСТ 24234-80) или пленкосинтокартон с эпоксидно-войлочной связующей - класс нагревостойкости "F", температура нагрева 155°C (ТУ 16.503.241-83). В качестве обмоточного провода используется провод ПЭТВМ, изолированный лаком ПЭ-939, класса нагревостойкости "В" (ТУ 16.505.370-71) или провод ПЭТВ-2 класса нагревостойкости "В".

Электродвигатели с высотами оси вращения более 132 мм выпускаются с классом нагревостойкости "F". При их изготовлении и ремонте используются провода ПЭТМ-155 (ТУ 16.505.173-80) и ПЭТ-155 (ГОСТ 21428-75). Класс нагревостойкости этих проводов "F". В качестве пазовой изоляции используются пленкосинтокартон ПСК-М и ариксан-композиция полиэтилен-терефталатной пленки, оклеенной с двух сторон полиарелатной пленкой (ТУ 6.19.051-81 и ТУ 6.19.506-81).

Электродвигатели серии АИР всех типоразмеров выпускаются с изоляцией класса нагревостойкости "F" (см. рекомендации, относящиеся к электродвигателям серии 4А с высотами оси вращения более 132 мм).

Зная классы нагревостойкости обмоточных и изоляционных материалов, применяемых при ремонте и изготовлении электродвигателей, экспериментальным путем при отсутствии паспортной таблички можно определить их номинальные данные. При этом необходимо снять зависимость тока холостого хода от приложенного напряжения  $I_{xx}=f(U)$  и кривую нагрева электродвигателя для проверки полученных результатов. Примерный вид зависимости  $I_{xx}=f(U_\phi)$  приведен на рисунке 6.1.

Полученная зависимость  $I_{xx}=f(U_\phi)$  имеет заметный перегиб (дуга "аб" на рисунке 41). Перпендикуляр, проведенный из середины области перегиба кривой на горизонтальную ось, показывает на ней напряжение близкое к номинальному. Округлив это напряжение до ближайшего стандартного значе-

ния, получим номинальное напряжение, на которое рассчитан электродвигатель. Шкала стандартных напряжений имеет вид: 127, 220, 380, 500 и 660 В.

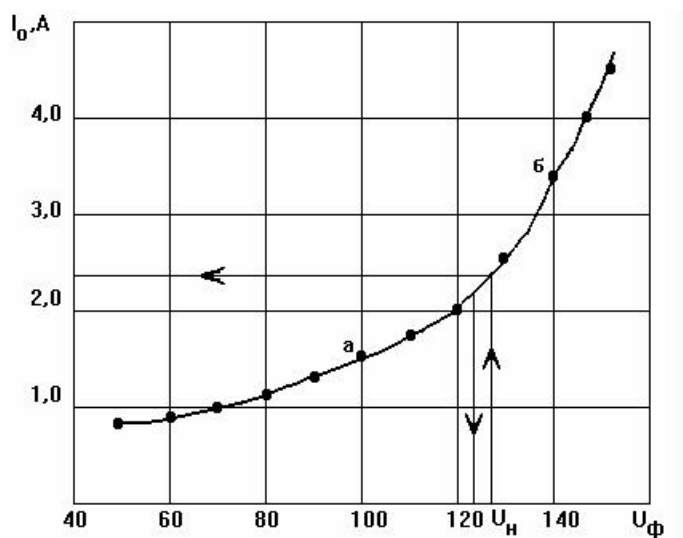


Рисунок 6.1 - Примерный вид зависимости тока холостого хода от приложенного напряжения  $I_{xx}=f(U_{\phi})$

Ориентировочная полезная мощность электродвигателя определяется из выражения

$$P_n = \frac{A I_{xx}}{B}, \quad (6.1)$$

где  $I_{xx}$  - ток холостого хода электродвигателя, А;  $A$  - параметр, зависящий от частоты вращения поля статора и габаритов электродвигателя. Его значения приведены в таблице 6.1;  $B$  - параметр, зависящий от номинального напряжения электродвигателя. Его значения приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.1 - Значения коэффициента "А"

Диапазон мощности электродвигателя, кВт	Значение параметра "А" при частоте вращения поля статора электродвигателя, об/мин					
	3000	1500	1000	750	600	500
1...10	3,0	2,0	1,8	1,65	1,55	1,45
11...50	4,8	2,5	2,2	2,00	1,80	1,70
51...100	5,5	3,2	2,9	2,50	2,20	2,00

Таблица 6.2 - Значения коэффициента "В"

Номинальное напряжение электродвигателя, В	127	220	380	500
Значение параметра "В"	6,0	3,5	2,0	1,3

Для точного определения значения мощности электродвигателя его необходимо испытать на нагрев. По полученным опытными данным следует построить кривую нагрева электродвигателя и определить установившееся значение превышения температуры обмотки  $tt_{уст} 40^{\circ}\text{C}$ . Если устано-

вившееся значение превышения температуры " t" близко к 90 С, то электродвигатель должен иметь класс нагревостойкости изоляции "В", а если

" t" близко к 115 С, то электродвигатель должен иметь класс нагревостойкости изоляции "F". В том случае, когда установившееся значение превышения температуры обмотки близко к значению температуры для данного класса нагревостойкости изоляции, мы, сравнивая значение ориентировочной полезной мощности электродвигателя со значениями шкалы мощностей асинхронных электродвигателей, определяем точное значение мощности на валу электродвигателя.

На основании существующего стандарта шкала мощностей асинхронных электродвигателей серии 4А имеет вид: 0,12; 0,18; 0,25; 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3,0; 4,0; 5,5; 7,5; 11,0; 15,0; 18,5; 22,0; 30,0; 37,0; 45,0; 55,0; 75,0; 90,0; 100; 132; 160; 200; 250; 315 и 400 кВт.

Шкала мощностей асинхронных электродвигателей серии АИР соответствует этим же показателям электродвигателей серии 4А.

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

При помощи мегаомметра проверить сопротивление изоляции относительно корпуса и между фазами. Оно должно быть не менее 0,5 МОм при температуре окружающей среды. Если температура обмотки отличается от температуры окружающей среды, то полученный результат следует привести к этой температуре. Методика приведения сопротивления изоляции к необходимой температуре подробно описана в методических указаниях к лабораторной работе № 4.

Целостность фазных обмоток можно проверить при помощи омметра, мегаомметра или контрольной лампы.

Для определения номинального напряжения  $U_n$  и тока холостого хода  $I_{xx}$  необходимо собрать схему, приведенную на рисунке 6.2. При помощи автотрансформатора TV1 необходимо увеличивать подводимое к электродвигателю напряжение, контроль за которым осуществляют при помощи вольтметра PV1. Рекомендуются увеличивать напряжение каждый раз на одну и ту же величину, например, 20 В, измеряя при этом ток холостого хода  $I_{xx}$ . Диапазон напряжений, при которых необходимо производить измерения, должен лежать в пределах от 80 до 400 В. В результате измерений должно быть получено не менее 8...10 точек.

Результаты измерений заносят в таблицу 6.3 и по полученным данным строят зависимость тока холостого хода электродвигателя от приложенного напряжения. Определив номинальное напряжение по характеристике  $I_{xx}=f(U_n)$ , устанавливают номинальное напряжение и с особой тщательностью измеряют ток холостого хода и частоту вращения вала ротора. Полученная частота вращения вала ротора должна быть округлена до ближайшего стандартного значения частоты вращения поля статора (3000, 1500, 1000, 750 и т.д. об/мин).

Таблица 6.3 - Результаты проведения опыта холостого хода

$U_{л}, В$	80	100	120	.....	380	400
$I_{хх}, А$						

Ориентировочное значение мощности на валу электродвигателя может быть определено из выражения (6.1). Величины, входящие в формулу, определяются следующим образом. По габаритам электродвигателя ориентировочно задаются порядком мощности и по таблице 29 выбирают коэффициент "А". Коэффициент "В" выбирают по таблице 30 в зависимости от номинального напряжения. Ток холостого хода для номинального напряжения получают из опыта холостого хода.

Для точного определения значения мощности электродвигателя его необходимо испытать на нагрев. Для снятия кривой нагрева в лобовую часть испытуемого электродвигателя устанавливается хромель-капельная термопара, выводы которой подключены к прибору КСП-4. Для снятия кривой нагрева собирается схема, приведенная на рисунке 6.3, и проводится испытание электродвигателя на нагрев.

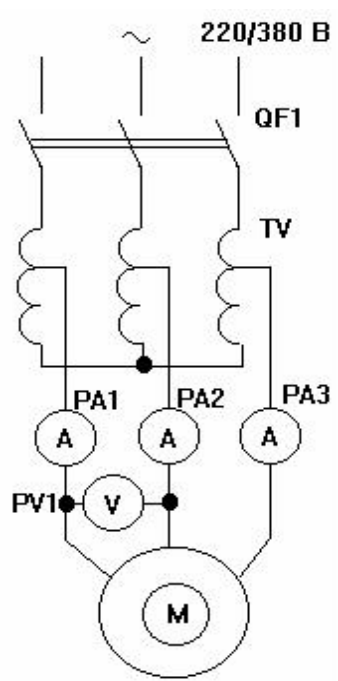


Рисунок 6.2 - Принципиальная схема для определения номинального напряжения и тока холостого хода

На валу электродвигателя "М" при помощи генератора постоянного тока "G" следует установить нагрузку мощностью  $P_{2н}$ . Поддерживая постоянными напряжение и частоту питающей сети, необходимо измерить потребляемую мощность  $P_1$ , потребляемый ток  $I_1$  и частоту вращения вала электродвигателя  $n_2$ . Результаты измерений необходимо занести в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 - Результаты испытаний электродвигателя на нагрев

$P_{2H}$	$P_{1H}$	$I_H$	$n_2$	$\cos$	
кВт	кВт	А	об/мин	-	-

Значения параметров " $\cos$ " и " $\eta$ " можно определить из выражений

$\eta = \frac{P_H}{P_{1H}}$  и  $\cos\varphi = \frac{P_{1H}}{\sqrt{3}U_H I_H}$ , где  $P_{1H}$  – номинальная потребляемая из сети мощность.

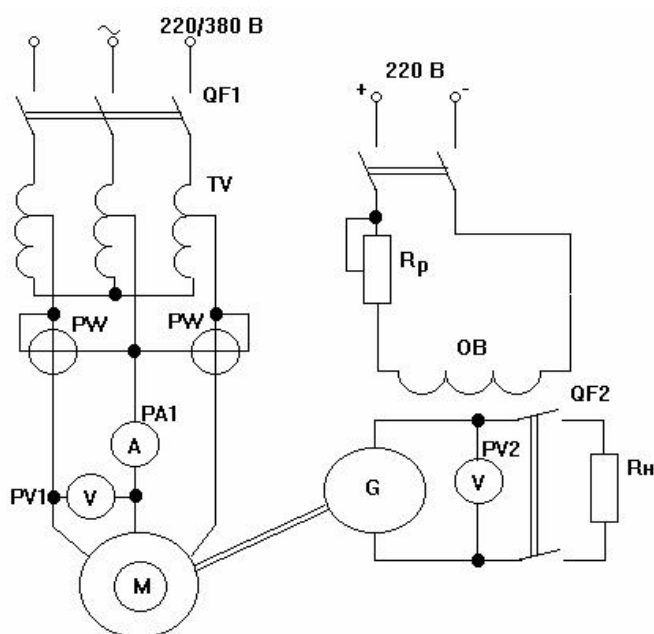


Рисунок 6.3 - Принципиальная схема установки для снятия кривой нагрева

При снятии кривой нагрева ток электродвигателя ( $I_H$ ) и напряжение сети ( $U_H$ ) должны поддерживаться постоянными. В процессе нагрева электродвигателя через равные промежутки времени необходимо измерять температуру (при помощи КСП-4) и результаты заносить в таблицу 6.5.

Таблица 6.5 - Данные полученные при снятии кривой нагрева электродвигателя

Время, мин.	0	5	10	15	.....	60
Температура, °С						

В отчете необходимо привести диаграмму нагрева электродвигателя. Процесс нагрева электродвигателя можно считать установившимся, если в течение часа температура обмотки электродвигателя возрастает не более чем на 1 С. Практически опыт по снятию кривой нагрева можно прекратить, если 3...4 последовательно сделанных измерений температуры дают одинаковые показания.

По полученным опытными данным необходимо построить кривую на-



грева электродвигателя и определить установившееся значение превышения

температуры обмотки.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать методику опытного определения номинальных данных асинхронного электродвигателя, схему установки для снятия кривой нагрева обмотки электродвигателя, полученные результаты испытаний, расчеты, графики, результаты анализа, выводы по результатам, полученным в ходе выполнения лабораторной работы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Какие данные записаны в паспорте асинхронного электродвигателя? Опишите методику определения номинальных данных электродвигателя. Перечислите классы нагревостойкости изоляционных материалов. Какие изоляционные материалы используются при изготовлении электродвигателей серии 4А с высотами вращения до 132 мм? Какие изоляционные материалы используются при изготовлении электродвигателей серии 4А с высотами вращения свыше 132 мм? Назовите марку обмоточного провода используемого в электродвигателях серии 4А. Назовите марку обмоточного провода используемого в электродвигателях серии АИР. Покажите какой вид имеет зависимость тока холостого хода от напряжения. Поясните, как по кривой  $I_{xx}=f(U_{л})$  можно определить номинальное напряжение электродвигателя? Опишите методику снятия кривой нагрева электродвигателя. Как определить значения к.п.д. и  $\cos$  асинхронного электродвигателя? Как определить установившееся значение температуры нагрева электродвигателя?

## ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

1. Подавать на стенд напряжение, без проверки правильности сборки схем и разрешения преподавателя, категорически запрещается.
2. Соблюдать правила работы с мегаомметром.
3. Не оставлять включенный стенд без присмотра.
4. Не работать в развивающейся одежде.
5. Необходимо соблюдать правила техники безопасности при работе с вращающимися электроустановками.
6. О замеченных неисправностях необходимо сразу ставить в известность преподавателя или лаборанта, самостоятельно устранять неисправности запрещается.

Практическая работа №7  
ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ  
ПУСКОЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучить и освоить методику безразборной диагностики и текущего ремонта пускозащитной аппаратуры.

**Задача лабораторной работы:** изучить операции выполняемые при проведении технического обслуживания и текущего ремонта, освоить методику безразборной диагностики пускозащитной аппаратуры

**ПРОГРАММА РАБОТЫ:**

1. Изучить операции, выполняемые при проведении технического обслуживания и текущего ремонта, освоить методику безразборной диагностики пускозащитной аппаратуры
2. Провести техническое обслуживание магнитного пускателя и заполнить технологическую карту его состояния.
3. Провести техническое обслуживание автоматического выключателя и заполнить технологическую карту его состояния.
4. Провести текущий ремонт магнитного пускателя.
5. Провести текущий ремонт автоматического выключателя.
6. Провести испытание и регулировку магнитного пускателя после проведения текущего ремонта.

**ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Низковольтная пускозащитная аппаратура служит для включения и отключения главных цепей в системах, передающих электрическую энергию от источника электрической энергии к потребителю. Кроме этого, они используются в цепях управления электроприводами. К пускозащитной аппаратуре могут быть отнесены: рубильники; магнитные пускатели; автоматические выключатели; защитно-отключающие устройства (например, УВТЗ, ФУЗ и т.д.).

Рубильники предназначены для нечастого включения и отключения тока в цепях напряжением до 380 В. Различают рубильники по признакам, приведенным в таблице 7.1.

Отключаемый рубильниками ток должен быть меньше или равен номинальному току рубильника. Технические характеристики рубильников, выпускаемых промышленностью, приведены в /1, 2, 3/.

Магнитные пускатели предназначены для дистанционного включения и отключения трехфазных асинхронных электродвигателей и других токоприемников напряжением до 500 В с номинальным током до 150 А. При на-

личии тепловых реле они обеспечивают защиту токоприемников от перегрузок. Основные технические данные магнитных пускателей серий ПМЕ, ПАЕ

и ПМЛ приведены в таблице 7.2. Все типы магнитных пускателей предназначены для работы в среде с относительной влажностью 70% без наличия в воздухе агрессивных примесей.

Таблица 7.1 - Отличительные особенности конструкций рубильников

По роду привода	С центральной рукояткой	С боковой рукояткой	С боковым рычажным приводом
По числу полюсов	один	два	три
По защищенности	открытые		защищенные
По способу подключения проводов к рубильнику			переднее заднее

В процессе эксплуатации электрооборудование подвергается воздействию различных факторов, что приводит к его износу. Поэтому для повышения его срока службы необходимо проводить плановые работы по техническому обслуживанию и текущему ремонту.

Таблица 7.2 - Технические данные магнитных пускателей

Тип магнитного пускателя	Номинальный ток, А	Предельная мощность электродвигателя в кВт, при напряжении:	
		220 В	380 В
ПМЕ-000	3	0,6	1,1
ПМЕ-100	10	2,2	4,0
ПМЕ-200	25	5,5	10,0
ПМЕ-300	40	10,0	17,0
ПМЕ-400	56	14,0	28,0
ПМЕ-500	115	30,0	55,0
ПМЕ-600	150	40,0	75,0
ПАЕ-2000	25	5,5	11,0
ПАЕ-3000	40	11,0	18,5
ПАЕ-4000	63	18,5	30,0
ПАЕ-5000	100	30,0	55,0
ПАЕ-6000	160	45,0	75,0
ПМЛ-1000	10	2,2	4,0
ПМЛ-2000	25	5,5	11,0
ПМЛ-3000	40	11,0	18,5
ПМЛ-4000	63	18,5	30,0
ПМЛ-5000	80	30,0	37,0
ПМЛ-6000	125	45,0	55,0
ПМЛ-7000	200	75,0	110,0

Техническое обслуживание (ТО) включает в себя контроль за техническим состоянием аппаратуры, с целью его прогнозирования до следующего технического обслуживания, и проверку работоспособности аппаратуры, а при необходимости ее регулирование.

Текущий ремонт (ТР)электрооборудования выполняют для обеспече-

ния или восстановления его работоспособности. Он заключается в замене или восстановлении отдельных деталей электрооборудования. ТР можно проводить на месте установки или на пунктах технического обслуживания и ремонта.

При проведении технического обслуживания можно выявить следующие основные неисправности магнитных пускателей (таблица 7.3).

Таблица 36 - Основные неисправности магнитных пускателей

НЕИСПРАВНОСТИ	ПРИЧИНЫ
1	2
1. Витковые замыкания в катушке магнитного пускателя.	1. Естественное старение изоляции. 2. Некачественная намотка катушки. 3. Повышенная вибрация во время работы.
2. Повышенный нагрев контактных соединений.	1. Большие токовые нагрузки. 2. Ослабление затяжки контактных соединений. 3. Износ контактных поверхностей. 4. Загрязнение контактных поверхностей.
3. Износ контактных поверхностей.	1. Большая частота включения. 2. Большие токовые нагрузки. 3. Наличие агрессивных газов в атмосфере.
4. Неудовлетворительное состояние изоляции.	1. Естественное старение изоляции. 2. Увлажнение изоляции. 3. Загрязнение изоляции.
5. Повышенный нагрев катушки магнитного пускателя.	1. Витковые замыкания. 2. Повышенное напряжение сети, $U_c > 1,05U_n$ . 3. Большая частота включений.
6. Трещины в каркасе.	1. Старение материала корпуса. 2. Заводской брак. 3. Работа необученного персонала.
7. Неисправность резьбы в ламелях.	1. Плохое качество ремонта. 2. Заводской брак.
8. Магнитный пускатель не включается.	1. Обрыв в цепи катушки. 2. Сильное загрязнение или окисление контактов кнопочного поста. 3. Пониженное напряжение сети. 4. Заклинивание подвижной системы магнитного пускателя.
9. После отпускания кнопки "пуск" пускатель отключается.	1. Неисправность замыкающих контактов кнопочного поста. 2. Ошибка при сборке схемы.

1	2
10. После отключения кнопки “стоп” пускатель самопроизвольно включается.	1. Замыкание или сваривание замыкающих контактов. 2. Ослабление возвратной пружины.
11. Пускатель включается, но сильно гудит.	1. Загрязнение поверхности магнитной системы. 2. Обрыв короткозамкнутого витка.

Автоматические выключатели предназначены для подключения, отключения и защиты электрических цепей, электродвигателей и другого электротехнического оборудования напряжением до 500 В переменного тока и до 440 В постоянного тока. Защиту электрических цепей они осуществляют от перегрузок и коротких замыканий. Классификацию автоматических выключателей можно провести по числу полюсов и по наличию и виду расцепителей. По числу полюсов они подразделяются на: однополюсные; двухполюсные; трехполюсные. По наличию и виду расцепителей они подразделяются на: с электромагнитными расцепителями; с тепловыми расцепителями; с комбинированными расцепителями; без расцепителей.

Типы выпускаемых электротехнической промышленностью автоматических выключателей и их характеристики приведены в /1, 2, 3/.

В таблице 7.4 приведены наиболее часто встречающиеся неисправности автоматических выключателей.

Эксплуатацию устройств защиты должен осуществлять квалифицированный персонал, имеющий не ниже третьей квалификационной группы по технике безопасности. Техническое обслуживание устройств защиты рекомендуется проводить одновременно с обслуживанием электродвигателей и пускозащитной аппаратуры.

Таблица 7.4 - Основные неисправности автоматических выключателей

НЕИСПРАВНОСТИ	ПРИЧИНЫ
1	2
1. Подгорание, наличие брызг металла и раковин на поверхности подвижных и неподвижных контактов.	1. Токовые перегрузки. 2. Большая частота включений. 3. Большая или малая степень нажатия контактных пружин.
2. Повреждение изоляции обмотки электромеханического привода.	1. Естественное старение изоляции. 2. Большая вибрация.
3. Нарушение регулировки контактной системы.	1. Большие токовые нагрузки. 2. Большое содержание пыли и агрессивных



газов в окружающей среде.

3. Износ контактной системы.

1	2
4. Излом или ослабление возвратной пружины.	1. Старение материала пружин из-за чрезмерного их нагрева. 2. Сильная вибрация.
5. Подгорание или окисление поверхности зажимов для присоединения токоприемников.	1. Большие токовые нагрузки. 2. Большое содержание пыли и агрессивных газов в окружающей среде.
6. Подгорание, износ или повреждение резьбы под винты крепления проводников.	1. Большие токовые нагрузки. 2. Большое содержание пыли и агрессивных газов в окружающей среде.
7. Наличие брызг металла и копоти на дугогасящих решетках.	1. Отключение больших токов коротких замыканий.

### МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Порядок проведения технического обслуживания магнитных пускателей, автоматических выключателей и тепловых реле приведен в таблицах 7.5, 7.6 и 7.7.

Таблица 7.5 - Технология технического обслуживания магнитного пускателя

ОПЕРАЦИИ	УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ОПЕРАЦИЙ
1	2
Очистка магнитного пускателя.	Очистить кожух магнитного пускателя от пыли сухим обтирочным материалом. Отвернуть винты крепления крышки кожуха и снять ее. Очистить магнитный пускатель от пыли сжатым воздухом. Копоть и загрязнения удалить обтирочным материалом, смоченным в бензине. Протереть магнитный пускатель сухим обтирочным материалом.
Проверка механической системы магнитного пускателя.	Осмотреть механическую систему магнитного пускателя. Включить его несколько раз вручную и убедиться в отсутствии перекосов контактной системы, задеваний контактов за искрогасительные камеры, заеданий подвижной части магнитной системы в направляющих.
Проверка состояния искрогасительных камер.	Снять искрогасительную камеру. Убедиться в отсутствии трещин, сколов и подгораний. Следы копоти и сажи удалить обтирочным материалом, смоченным бензином, и вытереть насухо.

1	2
<p>Проверка состояния главных и блокировочных контактов.</p>	<p>Снять крышку, закрывающую блок-контакты (в пускателях ПА и ПАЕ). Путем осмотра проверить состояние главных и блокировочных контактов. Главные и блокировочные контакты магнитных пускателей, имеющие нагар на рабочей поверхности, очистить обтирочным материалом, смоченным в бензине, и вытереть насухо. Измерить толщину металлокерамического слоя главных контактов, она должна быть не менее 0,5 мм. Пускатели с изношенными или подгоревшими контактами подлежат текущему ремонту.</p> <p>Осмотреть пружины главных и блокировочных контактов. Пружины не должны иметь повреждений и следов коррозии. Поврежденные пружины заменяются при текущем ремонте пускателя.</p> <p>В магнитных пускателях серий ПА и ПАЕ установить крышку, закрывающую блок-контакты.</p>
<p>Проверка состояния магнитной системы.</p>	<p>Обеспечить доступ к магнитопроводу. Осмотреть его, убедиться в отсутствии на магнитопроводе следов коррозии, отсутствии загрязнения контактных поверхностей магнитопровода, проверить состояние короткозамкнутого витка. Контактные поверхности магнитопровода очистить обтирочным материалом.</p>
<p>Проверка состояния контактных соединений.</p>	<p>Проверить состояние контактов в местах присоединения проводов. Контакты со следами перегрева или окисления разобрать, зачистить до металлического блеска, смазать техническим вазелином и собрать.</p> <p>Проверить затяжку контактов в местах присоединения проводов, подводящих питание, и в цепях вторичной коммутации. Ослабленные контакты подтянуть.</p>
<p>Проверка заземления пускателя.</p>	<p>Проверить состояние контактов заземления пускателя. Контакты со следами коррозии или окисления разобрать, зачистить до металлического блеска, смазать техническим вазелином и собрать.</p> <p>Проверить степень затяжки контактов заземления, ослабленные контакты подтянуть.</p>
<p>Проверка работы пускателя.</p>	<p>Включить и отключить магнитный пускатель вручную и убедиться в отсутствии перекосов и заеданий магнитной системы.</p> <p>Подать напряжение на пускатель. Включить и отключить пускатель несколько раз и убедиться в четкости его работы. При отключении пускателя допускается небольшое гудение.</p>

Таблица 7.6 - Технология технического обслуживания автоматических выключателей

Операция	Указания по выполнению операций
1	2
Очистка автоматического выключателя.	Очистить кожух автоматического выключателя от пыли сухим обтирочным материалом. Отвернуть винты и снять крышку автоматического выключателя. Расцепить рычаг(собачку) с удерживающей рейкой, для чего повернуть осторожно рейку до момента ее расцепления с собачкой. Вынуть дугогасительные камеры. Продуть выключатель сжатым воздухом. Удалить копоть и пятна обтирочным материалом, смоченным бензином. Протереть выключатель сухим обтирочным материалом.
Проверка механической системы выключателя.	<p>Осмотреть автоматический выключатель и убедиться в целостности пластмассового основания и крышки.</p> <p>Несколько раз включить и отключить выключатель вручную. Скорость включения и отключения выключателя не должна зависеть от скорости движения рукоятки или кнопки (у выключателей АП-50). Смазать шарнирные соединения приборным маслом. У автоматического выключателя АЗ700 при наличии дистанционного привода необходимо:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- отвернуть винты крепления крышки дистанционного привода и снять крышку;</li> <li>- осмотреть дистанционный привод и смазать шарнир привода приборным маслом;</li> <li>- закрыть крышку дистанционного привода и плотно затянуть ее винтами;</li> <li>- проверить надежность заземления дистанционного привода.</li> </ul>
Проверка состояния дугогасительных камер.	Снять дугогасительные камеры. Убедиться в отсутствии трещин, сколов и подгораний. Следы копоти и сажи удалить обтирочным материалом, смоченным бензином, и вытереть насухо. Надфилем очистить дугогасительные камеры от брызг металла.
Проверка состояния контактов.	Путем осмотра проверить состояние подвижных и неподвижных контактов. Контакты, имеющие нагар на рабочей поверхности, очистить обтирочным материалом, смоченным бензином, вытереть насухо. Измерить толщину металлокерамического слоя главных контактов, она должна быть не менее 0,5 мм. У автоматических выключателей АЗ140, дополнительно, необходимо проверить опережение разрывных контактов относительно главных.

1	2
Проверка состояния изоляции проводов.	Проверить состояние изоляции проводов, подводящих питание, и проводов цепей вторичной коммутации при помощи внешнего осмотра. При наличии отслоений, подгораний, обугливания или механических повреждений изоляции поврежденные участки необходимо покрыть изоляционной лентой.
Проверка состояния контактных соединений.	Проверить состояние контактов в местах присоединения проводов. Контакты со следами перегрева или окисления разобрать, зачистить до металлического блеска, смазать техническим вазелином. Проверить затяжку контактов в месте присоединения проводов, подводящих питание, и в цепи вторичной коммутации. Ослабленные контакты подтянуть.
Измерение сопротивления изоляции	При отключенном положении выключателя мегаомметром измерить сопротивление изоляции между подвижными и неподвижными контактами каждой фазы. При включенном положении выключателя измерить сопротивление изоляции между фазами автоматического выключателя. Сопротивление изоляции должно быть не менее 10 МОм при температуре 20 С или 293 К.
Проверка работы автоматического выключателя	Собрать автоматический выключатель. Включить и выключить его 3 - 5 раз при снятом напряжении и убедиться в четкости работы.

Таблица 7.7 - Технология технического обслуживания тепловых реле

Операция	Указания к выполнению операций
1	2
Очистка тепловых реле.	Очистить поверхность реле от пыли сухим обтирочным материалом. Масляные пятна удалить обтирочным материалом, смоченным бензином, вытереть очищенные места насухо и собрать.
Проверка состояния реле.	Убедиться в отсутствии механических повреждений и следов подгорания на поверхности реле. Снять крышку реле, проверить состояние деталей реле и контактов в местах присоединения нагревательных элементов. Если есть нагар, очистить контакты теплового реле обтирочным материалом, смоченным бензином. При короблении нагревательного элемента, выгорании металла и замыкании витков элемент заменить. При деформации и обгорании биметаллической пластины ее необходимо заменить. Проверить работу рычага возврата реле. При легком нажатии рычаг должен свободно перемещаться в пазах и возвращаться в исходное положение. Установить крышку реле и закрепить ее винтами или гайкой. Подтянуть винты крепления токоподводящих проводов.
Проверка времени срабатывания реле.	Подключить реле к схеме, позволяющей плавно регулировать силу испытательного тока, или к специальному стенду (например, МИИСП или УН-13). Схему для испытания реле можно составить из автотрансформатора и подключенного к нему понижающего трансформатора 220/12 В. Во вторичную обмотку необходимо включить реле и амперметр. При больших токах амперметр необходимо подключить через трансформатор тока. Существует несколько способов настройки тепловых реле, из них можно отметить: метод эталонного реле; ускоренный метод. Для настройки теплового реле через нагревательный элемент пропускают ток, равный $(2...3)I_n$ , и определяют время срабатывания испытуемого реле. Оно должно находиться в допустимых пределах, определяемых при помощи защитных характеристик по кратности испытательного тока. Защитные характеристики тепловых реле приведены в справочниках.

1	2
	<p>Время срабатывания теплового реле может быть рассчитано по выражению <math>t = \frac{120}{K^2} \frac{I_{сп}}{I_{н.дв}}</math>, где <math>K</math> - коэффициент, <math>I_{исп}</math> - испытательный ток; <math>I_{н.дв}</math> - номинальный ток двигателя. Это выражение справедливо для электродвигателей серии 4А и АИР.</p>

Карты технического состояния пускателей, автоматических выключателей составляются по образцу, приведенному ниже.

#### Карта технического состояния электрооборудования

Паспорт электрооборудования	
Тип электрооборудования	
Наименование узлов	Неисправности
1	2
Механическая система	
Состояние искрогасительных камер	
Состояние замыкающих и размыкающих контактов	
Состояние цепи управления и силовой цепи	
Состояние тепловых реле	

Порядок проведения текущего ремонта магнитных пускателей приведен в таблице 7.8. Порядок проведения текущего ремонта автоматических выключателей приведен в /1, 2/.

Таблица 7.8 - Технология текущего ремонта магнитных пускателей

Операция	Указания к выполнению операций
1	2
Обгорание изоляции обмотки и витковые замыкания в катушке.	<p>Повреждение верхнего слоя изоляции:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Осторожно снять поврежденный верхний слой изоляции.</li> <li>2. Катушку пускателя оборачивают защитным слоем изоляции (два слоя тафтяной ленты, конец которой приклеивают клеем БФ2).</li> <li>3. Пропитать катушку в лаке МЛ-92. Пропитка считается законченной, когда на поверхности лака прекратилось</li> </ol>

выделение пузырьков.

4. Просушить в печи в течение 4...5 часов при температуре 105...110°C.



1	2
	<p>Если имеют место витковые замыкания, повреждения, обрывы в средних и нижних слоях, то необходимо:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разрезать и удалить старый обмоточный провод.</li> <li>2. Очистить каркас.</li> <li>3. Конец провода которым будет наматываться катушка (ПЭВ-2, ПЭЛ), зачистить от изоляции по длине, равной 4 или 5 мм, и залудить припоем ПОС-30.</li> <li>4. Припаять залуженный конец обмоточного провода к токопроводящим клеммам припоем ПОС-30.</li> <li>5. Каркас катушки обернуть двумя слоями конденсаторной бумаги типа КОН, конец бумаги заклеивают клеем БФ-2.</li> <li>6. Каркас установить на намоточный станок и намотать катушку. При намотке через каждые 3 - 4 слоя уложить прокладки из конденсаторной бумаги БФ-2.</li> <li>7. Закончив намотку, облудить конец провода и припаять припоем к токопроводящей клемме.</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>8. Проверить сопротивление катушки и сравнить с данными приведенными в таблице 5.1./3/.</li> <li>9. Пропитать готовую катушку в лаке МЛ-92.</li> <li>10. Просушить в течение 4...5 часов при температуре 105...110°С.</li> <li>11. Наложить 2 или 3 слоя конденсаторной бумаги и проклеить ее клеем БФ-2.</li> </ol>
Трещины в каркасе.	<p>Места каркаса с трещинами очищают от пыли, грязи и масла салфеткой, смоченной в уайт-спирите и просушивают. На поверхность трещин наносят слой клея БФ-2 и дают ему высохнуть на воздухе в течение 10...15 минут. Затем наносят второй слой клея с последующей просушкой в течение 10...15 минут. Склеиваемые части каркаса крепко прижимают и стягивают тафтяной лентой. Затем сушат в печи при температуре 100...110 °С в течение 1,5...2 часов. После просушки каркас охлаждают и снимают стягивающую ленту.</p>

1	2
Ремонт контактов.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Контакты, имеющие на поверхности следы подгорания и нагара, очищают тряпкой, смоченной в уайт- спирите или авиационном бензине.</li> <li>2. Брызги металла на поверхности контактов зачищают надфилем.</li> <li>3. После очистки щупом толщиной 0,05 мм проверяют плотность сведения контактных поверхностей. При замкнутых контактах щуп не должен проходить между контактами более 25% контактной поверхности.</li> <li>4. При изломе или ослаблении контактных пружин их заменяют новыми.</li> <li>5. При износе или срыве резьбы в отверстиях под болты и винты крепления токопроводящих проводов отверстия с поврежденной резьбой рассверливают и нарезают резьбу следующего размера.</li> </ol>
Ремонт магнитопровода.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Загрязненные поверхности соприкосновения сердечника и якоря очищают обтирочным материалом, смоченным в бензине.</li> <li>2. Следы коррозии зачищают шлифовальной шкуркой.</li> <li>3. После очистки щупом толщиной 0,05 мм или при помощи копировальной бумаги определяют площадь соприкосновения якоря и сердечника. Поверхность соприкосновения должна быть не менее 70% от сечения средней части сердечника.</li> <li>4. Поврежденный короткозамкнутый виток заменяют новым, который изготавливается из латуни марки П62. Замена материала и изменение размеров короткозамкнутого витка запрещается, потому что при работе температура его достигает 200 °С.</li> </ol>
Ремонт выводных зажимов.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обгоревшие или окислившиеся контактные поверхности выводных зажимов зачищают надфилем или шлифовальной шкуркой, затем протирают обтирочным материалом, смоченным бензином, и залуживают припоем ПОС-30.</li> <li>2. При износе резьбы в отверстиях под винты крепления токопроводящих проводов отверстия заваривают латунью. Место заварки зачищают напильником, накернивают, просверливают и нарезают резьбу нужного размера.</li> </ol>

После проведения текущего ремонта магнитного пускателя необходимо провести его испытания и регулировки. Они выполняются в порядке, показанном ниже.

Собрав магнитный пускатель, его осматривают. Правильность сборки

проверяют, нажав рукой на подвижную часть магнитной системы, а затем отпустив ее. При этом не должно наблюдаться заеданий подвижной системы сердечника. Мегаомметром на 500 или 1000 В измеряют сопротивление изоляции магнитного пускателя между входом и выходом каждой фазы, каждого полюса блок-контактов при разомкнутых контактах; между соседними полюсами при замкнутых контактах и всеми токоведущими частями электрически соединенными между собой. Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм при температуре 20 С. Затем проверяют работу магнитного пускателя при номинальном напряжении. При этом определяют напряжение втягивания и напряжение отпускания катушки которое должно быть не менее 70% от номинального напряжения. Далее определяют величины провала и раствора контактов пускателя. Величину провала определяют при помощи щупов. Провал во включенном состоянии определяется по величине перемещения поводка, на котором укреплен контактный мостик, от начала соприкосновения контактов до положения, соответствующего их полному включению. Раствор главных контактов определяют расстоянием между контактами при отключенном состоянии.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: сведения о возможных неисправностях пускозащитной аппаратуры; методику проведения текущего ремонта пускозащитной аппаратуры; карты технического состояния заданной преподавателем пускозащитной аппаратуры; выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Перечислите наиболее часто встречающиеся неисправности магнитных пускателей. Перечислите наиболее часто встречающиеся неисправности автоматических выключателей. Перечислите наиболее часто встречающиеся неисправности тепловых реле. Приведите порядок проведения послеремонтных испытаний пускорегулирующей аппаратуры. Приведите технологию проведения текущего ремонта магнитных пускателей. Приведите технологию проведения текущего ремонта автоматических выключателей. Приведите технологию проведения текущего ремонта тепловых реле.

## ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

1. Подавать на стенд напряжение без разрешения преподавателя категорически запрещается.
2. Все измерения зазоров необходимо проводить на отключенном магнитном пускателе.
3. Все переключения необходимо делать на обесточенном макете.
4. О замеченных неисправностях необходимо сразу ставить в известность преподавателя или лаборанта, самостоятельно устранять

- неисправности запрещается.



