

Департамент образования Белгородской области  
Областное государственное автономное  
профессиональное образовательное учреждение  
«Белгородский индустриальный колледж»

Рассмотрено  
цикловой комиссией  
электротехнических дисциплин  
Протокол заседания № 3  
от «11» октября 2021 г.  
Председатель цикловой комиссии  
\_\_\_\_\_ Головкова О.Н.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по выполнению лабораторных работ

по междисциплинарному курсу

**МДК.01.03 «Основы технической эксплуатации и обслуживания  
электрического и электромеханического оборудования»**

Тема.3.1. Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и  
электромеханического оборудования

ПМ.01 «Организация простых работ по техническому обслуживанию и ремонту  
электрического и электромеханического оборудования»

по специальности

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

Квалификация техник

Разработчики:  
Преподаватели  
Белгородского индустриального колледжа  
Сильченко О.В.  
Погребняков А.Г.

Белгород 2021 г.

## Содержание

	Стр.
1. Пояснительная записка	3
1.1. Краткая характеристика междисциплинарного курса, его цели и задачи. Место лабораторных работ в курсе МДК	3
1.2. Организация и порядок проведения лабораторных работ	3
1.3. Общие указания по выполнению лабораторных работ	3
1.4. Критерии оценки результатов выполнения лабораторных работ	4
2. Тематическое планирование лабораторных работ	6
3. Содержание лабораторных работ	7
<i>Тема 3.1. Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования</i>	7
Лабораторная работа №1 Изучение способов проверки качества ремонта стальных листов сердечников	7
Лабораторная работа №2 Регулировка и испытание магнитного пускателя	13
Лабораторная работа №3 Методы исследования температуры обмоток электродвигателей по их сопротивлению	15
Лабораторная работа №4 Определение отдельных фаз обмоток трехфазного электродвигателя и маркировка выводов	18
Лабораторная работа №5 Измерение сопротивления изоляции обмоток электродвигателя	21
Лабораторная работа №6 Измерение сопротивления защитного заземления электрооборудования и сопротивления петли «фаза-нуль»	24
Лабораторная работа №7 Определение места повреждения кабельных линий методом колебательного разряда	30
Лабораторная работа №8 Определение места повреждения кабельных линий индукционным методом	32
Лабораторная работа №9 Составление технологической карты ступенчатой разделки силового кабеля напряжением до 10 кВ с бумажной изоляцией	34
Лабораторная работа №10 Испытание обмоток электрических машин повышенным напряжением промышленной частоты	38
Лабораторная работа №11 Изучение способов сушки изоляции обмоток электродвигателей	41
Лабораторная работа №12 Изучение способов сушки изоляции обмоток трансформаторов	46
Лабораторная работа №13 Изучение способов центровки валов электрических машин	55
Лабораторная работа №14 Изучение способов определения воздушных зазоров электрических машин	58
Лабораторная работа №15 Сборка схемы и проверка в действии нереверсивного магнитного пускателя с помощью кнопочной станции	61
4. Информационное обеспечение обучения	63

## **1. Пояснительная записка**

### **1.1. Краткая характеристика междисциплинарного курса, его цели и задачи. Место лабораторных работ в курсе МДК**

Междисциплинарный курс МДК.01.03 «Основы технической эксплуатации и обслуживания электрического и электромеханического оборудования» является частью рабочей основной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям).

Междисциплинарный курс изучается в V-VI семестрах. В целом рабочей программой предусмотрено 90 часов на выполнение лабораторных работ, что составляет 36 % от обязательной аудиторной нагрузки, которая составляет 218 часов, при этом максимальная нагрузка составляет 250 часов, из них 16 часов приходится на самостоятельную работу обучающихся.

Цель настоящих методических рекомендаций: оказание помощи обучающимся в выполнении лабораторных работ по междисциплинарному курсу МДК.01.03 «Основы технической эксплуатации и обслуживания электрического и электромеханического оборудования», качественное выполнение которых поможет обучающимся освоить обязательный минимум содержания междисциплинарного курса и подготовиться к промежуточной аттестации в форме экзамена.

### **1.2. Организация и порядок проведения лабораторных работ**

Лабораторные работы проводятся после изучения теоретического материала. Введение лабораторных работ в учебный процесс служит связующим звеном между теорией и практикой. Они необходимы для закрепления теоретических знаний, а так же для получения практических навыков и умений. При проведении лабораторных работ задания выполняются студентом самостоятельно, с применением знаний и умений, усвоенных на предыдущих занятиях, а также с использованием необходимых пояснений, полученных от преподавателя. Обучающиеся должны иметь методические рекомендации по выполнению лабораторных работ, конспекты лекций, измерительные и чертежные инструменты, средство для вычислений.

### **1.3. Общие указания по выполнению лабораторных работ**

Курс лабораторных работ по междисциплинарному курсу МДК.01.03 «Основы технической эксплуатации и обслуживания электрического и электромеханического оборудования» предусматривает проведение 15 работ.

При подготовке к проведению лабораторной работы необходимо:

- ознакомиться с лабораторным оборудованием;
- ознакомиться с краткими теоретическими сведениями;
- ознакомиться с порядком выполнения работы.

После выполнения лабораторной работы обучающийся к следующему занятию оформляет отчет, который должен содержать:

- название лабораторной работы, ее цель;
- необходимый графический материал, указанный преподавателем при выполнении лабораторной работы (принципиальная схема лабораторной установки, графики, таблицы);
- данные, полученные непосредственно из проводимых опытов;
- результаты обработки данных опытов с необходимыми пояснениями;
- графический материал, отображающий полученные в ходе опытов значения измеряемых величин;

- оценку результатов испытаний;
- ответы на контрольные вопросы.

При работе в лаборатории необходимо руководствоваться инструкцией по технике безопасности, учитывающими все особенности лаборатории, такие как наличие высокого напряжения, легкодоступных для прикосновения токоведущих частей электрооборудования.

В лаборатории нельзя находиться в отсутствие преподавателя или лица, ответственного за технику безопасности.

При нахождении в лаборатории следует находиться в рабочей зоне, указанной преподавателем. С самого начала необходимо убедиться в том, что испытательный стенд находится в полностью обесточенном (отключенном) состоянии.

Все испытания проводятся бригадами не менее двух человек. Перед выполнением лабораторной работы необходимо получить вводные инструкции преподавателя и внимательно ознакомиться с описанием лабораторного стенда и оборудованием.

**Внимание! Включать лабораторные установки и выполнять какие-либо действия с приборами допускается ТОЛЬКО с разрешения преподавателя!**

При обнаружении признаков неисправности, таких как: появление искрения, дыма, специфического запаха, аномальных показаний измерительных приборов, следует немедленно отключить все источники электроэнергии стенда и сообщить о случившемся преподавателю.

При возникновении реальной опасности травматизма для одного или нескольких присутствующих, участники испытания должны произвести срочное отключение лаборатории от всех источников электроэнергии выключением вводного автомата. Лаборатории должны иметь средства пожаротушения и оказания первой медицинской помощи.

На первом занятии изучаются правила техники безопасности, и проводится вводный инструктаж с последующей проверкой его усвоения, о чем производятся записи в журнал регистрации инструктажа студентов по охране труда в лаборатории, подписываемые преподавателем, проводившем инструктаж, и всеми обучающимися.

#### **1.4 Критерии оценки результатов выполнения лабораторных работ**

Критериями оценки результатов работы обучающихся являются:

- уровень усвоения обучающимся учебного материала;
- умение обучающегося использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность общеучебных и профессиональных компетенций:

##### Перечень общих компетенций

ОК 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам.

ОК 02 Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности.

ОК 03 Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие.

ОК 04 Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.

ОК 05 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста.

ОК 06 Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей.

ОК 07 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.

ОК 08 Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности.

ОК 09 Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 10 Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.

ОК 11 Использовать знания по финансовой грамотности, планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере.

#### Перечень профессиональных компетенций

ПК 1.1 Выполнять наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования.

ПК 1.2 Организовывать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования.

ПК 1.3 Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования.

ПК 1.4 Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования

–обоснованность и четкость изложения материала;

–анализ результатов;

–уровень оформления работы.

#### Критерии оценивания практической работы

Оценка	Критерии оценивания
5	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы.
4	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
3	Работа выполнена в полном объеме, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, допуская ошибки на дополнительные вопросы.
2	Работа выполнена не полностью. Студент практически не владеет теоретическим материалом, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.

## 2. Тематическое планирование лабораторных работ

Тема	Наименование тем	Вид и название работы	Количество часов на выполнение работы
<b>МДК.01.03 Основы технической эксплуатации и обслуживания электрического и электромеханического оборудования</b>			
<b>3.1.</b>	<b>Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования</b>		<b>90</b>
		<b>Лабораторная работа №1</b> Изучение способов проверки качества ремонта стальных листов сердечников	6
		<b>Лабораторная работа №2</b> Регулировка и испытание магнитного пускателя	6
		<b>Лабораторная работа №3</b> Методы исследования температуры обмоток электродвигателей по их сопротивлению	6
		<b>Лабораторная работа №4</b> Определение отдельных фаз обмоток трехфазного электродвигателя и маркировка выводов	6
		<b>Лабораторная работа №5</b> Измерение сопротивления изоляции обмоток электродвигателя	6
		<b>Лабораторная работа №6</b> Измерение сопротивления защитного заземления электрооборудования и сопротивления петли «фаза-нуль»	6
		<b>Лабораторная работа №7</b> Определение места повреждения кабельных линий методом колебательного разряда	6
		<b>Лабораторная работа №8</b> Определение места повреждения кабельных линий индукционным методом	6
		<b>Лабораторная работа №9</b> Составление технологической карты ступенчатой разделки силового кабеля напряжением до 10 кВ с бумажной изоляцией	6
		<b>Лабораторная работа №10</b> Испытание обмоток электрических машин повышенным напряжением промышленной частоты	6
		<b>Лабораторная работа №11</b> Изучение способов сушки изоляции обмоток электродвигателей	6
		<b>Лабораторная работа №12</b> Изучение способов сушки изоляции обмоток трансформаторов	6
		<b>Лабораторная работа №13</b> Изучение способов центровки валов электрических машин	6
		<b>Лабораторная работа №14</b> Изучение способов определения воздушных зазоров электрических машин	6
<b>Лабораторная работа №15</b> Сборка схемы и проверка в действии нереверсивного магнитного пускателя с помощью кнопочной станции	6		

### 3. Содержание лабораторных работ

#### Тема 3.1 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования

#### Лабораторная работа 1

**Тема работы:** Изучение способов проверки качества ремонта стальных листов шихтованных сердечников

**Цель работы:** Изучить способы проверки активной стали статора асинхронного двигателя, произвести проверку изоляции листов активной стали статора асинхронного двигателя.

#### Краткие теоретические сведения

Сердечники активной стали асинхронных двигателей набираются из листов электротехнической стали, обладающей высоким электрическим сопротивлением (в результате легирования ее кремнием) и низкими потерями при перемагничивании, определяемыми узкой (с малой площадью) петлей гистерезиса.

Листы сердечников статоров асинхронных электродвигателей, работающих при частоте 50 Гц, выполняются толщиной 0,5 мм и реже 0,35 мм. Сердечники статоров электродвигателей, работающих при больших частотах, выполняются из листов стали толщиной 0,2 и 0,1 мм. Торцевые листы сердечников делают утолщенными или образуют с помощью точечной сварки двух тонких листов.

Для уменьшения потерь от вихревых токов листы стали, как правило, изолируют друг от друга лаковой пленкой, которая наносится при пропускании листов между валиками лакировальной машины с последующей сушкой. Наряду с этим применяют оксидную межлистовую изоляцию, образуемую пленкой оксида железа при нагревании листов в окислительной среде. В электродвигателях старых выпусков изоляция производилась обклейкой стальных листов тонкой бумагой.

В процессе ремонта электродвигателя после изготовления стальных листов шихтованных сердечников производят проверку изоляции, которая зависит от качества лаковой пленки и состояния поверхности листа после вырубки на прессе и снятия грата. На пластинах, подвергающихся лакировке, не должно быть большого грата или заусенцев.

Изоляция лаковых пленок в испытуемом столбике из листов активной стали считается нормальной, если ее сопротивление не меньше определенного значения, установленного опытом. Испытания проводят по схеме, изображенной на рис. 1. Отлакированные высушенные листы устанавливают столбиком между двумя латунными пластинами 1-5, из которых одна (нижняя) изолирована от станины 6 установки. С помощью рычага 2 грузом 3 листы сжимаются. Испытуемый столбик листов соединяется через пластины 1-5 и зажимы 4 с измерительной схемой. Измерения производят методом амперметра-вольтметра, определяя сопротивление столбика листов стали.

После окончательной сборки сердечника производят испытания, целью которых является определение исправности сердечника в целом. При этих испытаниях проверяется отсутствие замыканий в сердечнике и вызванных этими замыканиями местных перегревов, а также оценка потерь мощности в стали сердечника. Эти испытания производят индукционным методом при вынутом роторе. В спинке статора намагничивающей обмоткой (рис. 2), накладываемой на сердечник статора, создается магнитная индукция  $B = 1$  Тл. Для контроля индукции в спинке и ЭДС намагничивающей обмотки на сердечник накладывают также контрольную обмотку.

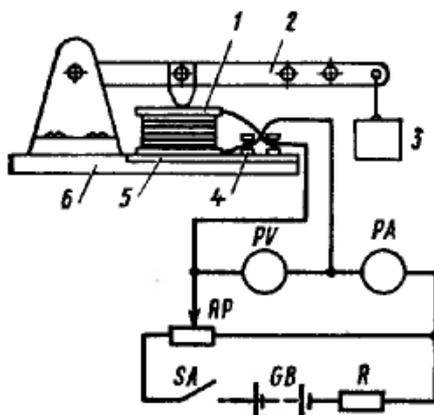


Рис. 1 Установка для измерения изоляции листов активной стали

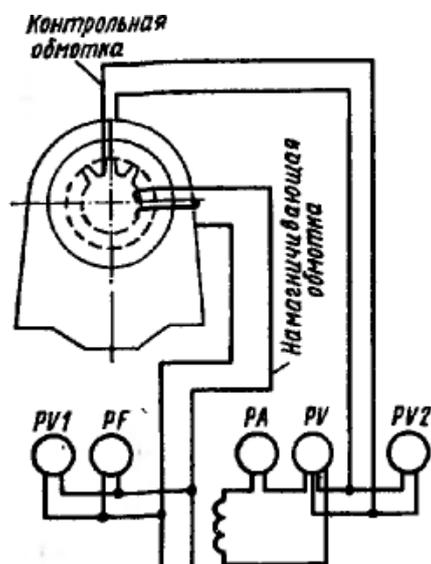


Рис. 2 Схема испытания активной стали

### Методические указания

Для испытания отдельных листов набора (см. рис. 1) берут 30-40 листов. Давление, создаваемое грузом, выбирают около  $6 \text{ кг/см}^2$  ( $600 \text{ кПа}$ ). В качестве источника тока используют сухую батарею, аккумулятор или выпрямитель напряжением около 15 В. Если напряжение источника больше, то необходимо понизить его потенциометром  $RP$  до указанного рабочего значения. Для ограничения тока и предохранения амперметра от повреждений в цепь введено балластное сопротивление  $R$ .

По показаниям амперметра и вольтметра сопротивление столбика, находящегося под давлением, определяется по формуле:

$$R = U/I$$

Расчет веса груза ведут по формуле:

$$P = s p \frac{m}{n}$$

где  $s$  - площадь стального листа,  $\text{м}^2$ ;  $p$  - давление,  $\text{Н/м}^2$ ;  $m/n$  - отношение плеч рычага.

Из подсчитанного таким образом веса груза необходимо вычесть силу давления, производимого весом рычага 4 и пластины 1.

**Пример.** Площадь стального листа статора асинхронного двигателя  $S = 36 \text{ см}^2$ . Столбик, составленный из 40 таких листов, установлен на приспособлении (см. рис. 1). Отношение плеч нажимного рычага  $m : n = 1 : 8$ . Вес рычага 20 Н; вес пластины, под которой находится столбик, 5 Н. При включении столбика пластин под напряжение 12 В ток в цепи оказался равным 0,32 А. Требуется определить вес груза и сопротивление столбика.

Необходимое давление:

$$P = 36 \times 10^{-4} \times 6 \times 10^5 \times \frac{1}{8} = 270 \text{ Н}$$

С учетом веса рычага и пластины вес груза, который необходимо подвести к концу рычага,

$$P = 270 - 25 = 245 \text{ Н} = 24,5 \text{ кг}$$

Сопротивление столбика

$$R = 12/0,32 = 37 \text{ Ом.}$$

Иногда бывает трудно установить причину получившегося очень низкого сопротивления: плохая лакировка листов или наличие грата и заусенцев. Для выяснения этого необходимо заложить столбик из того же количества листов, предварительно сложив их попарно таким образом, чтобы в каждой паре листов стороны, очищенные от грата, оказались обращенными навстречу друг другу. Если при измерении такого столбика сопротивление изоляции окажется высоким, то это будет означать, что лаковая пленка достаточно хорошая, а

причиной низкого сопротивления столбика при нормальной сборке является наличие грата. Если подсчет площади листа при его сложной конфигурации труден, то площадь берут из паспорта электродвигателя.

При испытаниях собранного сердечника индукционным методом необходимо учесть пояснения и расчетные формулы, приводимые ниже. При этом частота переменного тока должна быть 50 Гц. Если такую частоту обеспечить невозможно, то испытание следует отложить на время снижения нагрузки в сети.

Намагничивающую и контрольную обмотки желательно выполнять проводом ПР или ПРГ (или другими проводами, изолированными пропитанной в лаке хлопчатобумажной лентой). При отсутствии провода нужного сечения можно воспользоваться обмоткой из параллельных ветвей. Применение свинцовых и бронированных кабелей не допускается. Во избежание повреждения изоляции провода обмотки рекомендуется накладывать на прокладки электрокартона поверх корпуса статора.

На время испытаний корпус статора следует надежно заземлить проводом сечением не менее 50 мм<sup>2</sup>.

Число витков намагничивающей обмотки определяется по формуле:

$$\omega = 45 U_1 / Q$$

где  $U_1$  - напряжение, подключаемое при испытании к намагничивающей обмотке. В:

$Q = (1 - nb_e) h_{cn} k_{CT}$  - поперечное сечение спинки статора, см<sup>2</sup>;  $n$  - число вентиляционных каналов;  $b_e$  - ширина вентиляционных каналов, см;  $k_{CT}$  - коэффициент заполнения стали (табл. 1);  $h_{cn}$  - высота спинки, см.

Таблица 1. Значения коэффициентов заполнения стали

Вид изоляции листов	Коэффициент заполнения стали при толщине стали, мм	
	0,5	0,35
Оклейка бумагой	0,9	0,87
Лакировка	0,93	0,91
Без изоляции или оксидная изоляция	0,95	0,93

Значение  $h_{cn}$  (см) определяется по формуле

$$h_{cn} = \frac{D_n - D_b}{2} - h_{зуб}$$

где  $D_n$  и  $D_b$  - наружный и внутренний диаметры статора, см;  $h_{зуб}$  - высота зубца стального листа, см (рис. 3).

Если через спинку статора проходят стяжные болты, то высота спинки определяется по формуле  $h_{cn} = \frac{D_n - D_b}{2} - h_{зуб} - d_{омб}$

Если в результате расчетов число витков окажется дробным, то надо принять ближайшее целое число.

При выборе источника питания для намагничивающей обмотки следует учитывать, что более высокое напряжение позволяет применить обмотки с большим числом витков и, следовательно, более близким к расчетному значению.

Значение тока намагничивающей обмотки для создания магнитной индукции, равной 1 Тл, с необходимой точностью заранее подсчитать трудно, так какой зависит от марки и качества стали, от конструкции сердечника (от наличия стыков в разъемах статора и между сегментами пакета).

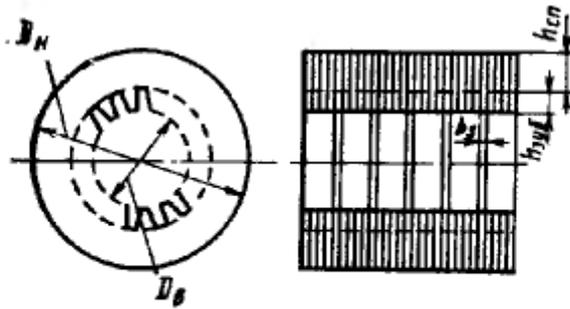


Рис. 3 Размеры активной стали

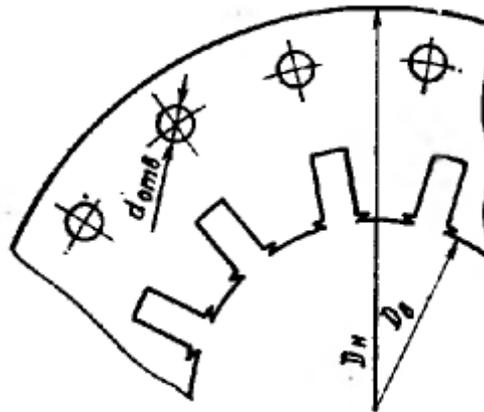


Рис. 4 Размеры спинки стали

Но приближенно расчет тока возможно сделать (так как значение тока определит выбор сечения провода обмотки, пределы измерения амперметра и ваттметра) по формуле:

$$I = \frac{0,033(D_n - h_{cn})F}{w_1};$$

где  $h_{cn}$  - высота спинки, см;  $F$  - удельная МДС, А/м, равная 200-250 для повышнелегированной и высоколегированной сталей и 450-500 для слаболегированной и среднелегированной сталей.

В обоих случаях большее значение относится к статорам с числом сегментов более четырех и разъемным статорам. Допускаемый ток нагрузки для намагничивающей обмотки в зависимости от сечения приведен ниже:

Сечение провода, мм <sup>2</sup>	6	10	16	25	35	50
Ток нагрузки, А	30	45	60	85	105	130

Мощность, необходимая для питания намагничивающей обмотки, кВ·А,

$$P_{исп} = IU_1 * 10^{-3}.$$

Число витков контрольной обмотки ;

$$W_2 = W_1$$

где  $U_2$ - напряжение на зажимах контрольной обмотки, которое выбирают из условия удобного отсчета показаний по шкале установленного вольтметра PV2.

Намагничивающая обмотка присоединяется к источнику питания через отдельные предохранители и двухполюсный рубильник или автомат, которые выбирают из значений тока, потребляемого намагничивающей обмоткой.

Необходимо помнить, что напряжение на зажимах контрольной обмотки ( $U_a$  пропорционально магнитной индукции в стали, и если это напряжение отличается от расчетного,

то магнитная индукция не будет равна 1 Тл. Значение магнитной индукции при испытании может быть пересчитано по формуле:

$$B = kU_b,$$

где  $k = 45/(Qw_2)$ .

В процессе испытаний осуществляют контроль температуры стали. Для этого в наиболее холодные и наиболее горячие зубцы, а также равномерно по расточке и длине статора устанавливают термометры или термопары.

Если через 90 мин после начала испытаний максимальный перегрев стали относительно температуры окружающего воздуха не превысит  $45^{\circ}\text{C}$  и максимальная разность температур между отдельными зубцами не превысит  $25^{\circ}\text{C}$  и при этом удельные потери не превосходят 2,5 Вт/кг для повышенолегированной и высоколегированной сталей и 5,5 Вт/кг для слаболегированной и среднелегированной сталей, то состояние активной стали статора считается нормальным.

Расчет удельных потерь в стали (Вт/кг) производят по формуле:

$$P_w = \frac{40 K_{Тр} \frac{W_1}{W_2} P_B}{Q (D_H - h_{сп})}$$

где  $P_B$  - показания ваттметра без учета  $k_{Тр}$ ;  $k_{Тр}$  - коэффициент трансформации трансформатора тока.

Если индукция в спинке не равна 1 Тл ( $U_t$  не равно расчетному), то действительное значение удельных потерь пересчитывают по формуле

$$P_{w1} = P_w (U_{2p}/U_2)^2,$$

где  $P_w$  - удельные потери при испытании, Вт/кг;  $U_{2p}$  и  $U_2$  - расчетное и действительное напряжения контрольной обмотки.

Место испытаний должно быть ограждено, снабжено установленными предостерегающими плакатами. В процессе испытаний следует все показания снимать с приборов, не прикасаясь к ним и к статору.

### Порядок выполнения работы

1. Провести испытание изоляции набора листов активной стали, для чего необходимо:

- набрать 30 листов стали и пакет уложить в собранную по рис. 1 установку;
- произвести расчет усилия давления груза; произвести расчет веса груза;
- включить выключатель SA и установить напряжение на вольтметре  $PV = 15 \text{ В}$ ;
- рассчитать сопротивление столбика стальных листов;
- отключить питание, вынуть столбик листов и сложить листы так, чтобы в каждой паре листов стороны, очищенные от грата, оказались обращенными друг к другу;
- включить питание и вновь замерить сопротивление.

Сделать заключение о состоянии изоляции стальных листов.

2. Произвести испытание активной стали статора, для чего необходимо:

- рассчитать число витков намагничивающей обмотки;
- рассчитать значение тока, потребляемого намагничивающей обмоткой, и выбрать сечение провода и измерительные приборы;
- рассчитать мощность, потребляемую намагничивающей обмоткой;
- рассчитать число витков контрольной обмотки;
- собрать схему согласно рис. 2;
- произвести пробное включение намагничивающей обмотки, проверив частоту питающей сети по частотомеру PF и напряжение на зажимах контрольной обмотки, которое не должно значительно отличаться от расчетного значения (при необходимости сделать пересчет значения магнитной индукции);
- через 10 мин после начала испытания напряжение снять, проверить на ощупь нагрев стали по всей расточке статора. Выбрав наиболее холодный зубец, заложить в него термопары или термометры;

- включить напряжение и через 10 мин вновь его снять, определить наощупь зубцы, имеющие повышенный нагрев, и также установить в них термопары или термометры;
  - установить равномерно по всей расточке статора и по длине активной стали термометры или термопары, причем на участках активной стали, где производился ремонт, установка термометра или термопар обязательна;
  - включить напряжение и вести прогрев статора в течение 90 мин, записывая температуру через каждые 10 мин (если во время испытания температура какой-либо точки активной стали достигнет  $100^{\circ}\text{C}$ , а также при появлении дыма или искр из какого-либо участка стали или намагничивающей обмотки, то испытание немедленно прекратить);
  - рассчитать удельные потери в стали;
- Сделать вывод о пригодности активной стали статора к эксплуатации.
3. Составить отчет по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Из какой стали и какой толщины изготавливают активные части электрических машин?
2. В каком случае требуется полная перешихтовка активной стали?
3. Чем изолируют листы активной стали?
4. Каким давлением спрессовываются листы активной стали при сборке?
5. В чем сущность испытаний активной стали индукционным методом?
6. Какие требования обязательно должны соблюдаться при проведении испытаний активной стали индукционным методом?

## Лабораторная работа 2

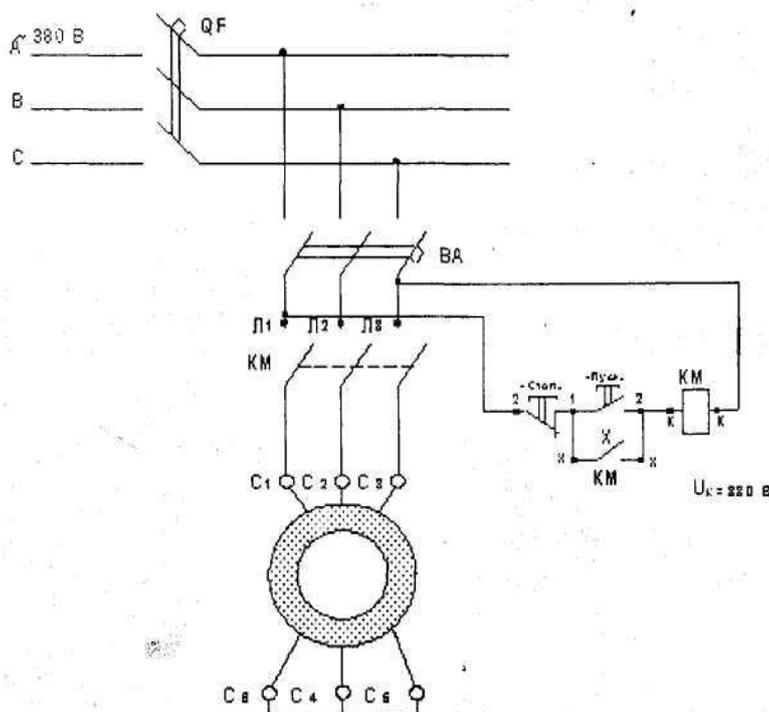
**Тема работы:** Регулировка и испытание магнитного пускателя

**Цель работы:** Ознакомиться с монтажной электрической схемой соединения магнитного пускателя с двухкнопочной станцией управления. Осуществить сборку и проверку действия схемы.

### Материально - техническое оснащение

1. Магнитный пускатель ПМЕ - 1 шт.
2. Двухкнопочная станция - 1 шт.
3. Автоматический выключатель АП-50 или трехполюсный рубильник - 1 шт.
4. Монтажные провода, инструменты и приборы.

### Электрическая схема опыта



### Описание работы

Нереверсивный магнитный пускатель предназначен для пуска, остановки и защиты электродвигателя и других электроприемников. Для включения нереверсивного магнитного пускателя применяют двухкнопочную станцию управления с одним замыкающим «Пуск» и одним размыкающим «Стоп» кнопочными контактами. Обмотку контактора магнитного пускателя подключают к источнику питания через двухкнопочную станцию.

Монтажная электрическая схема соединения нереверсивного магнитного пускателя типа ПМЕ — 212 с двухкнопочной станцией приведена на рисунке. На монтажной схеме внутренние соединения показаны сплошными линиями. Зажимы для подсоединения внешних проводников показаны светлыми кружками. Блок - контакты 1 - 2 и 3 - 4 устанавливаются только по просьбе заказчика.

Для включения нереверсивного магнитного пускателя необходимо нажать кнопку «Пуск». При этом замкнется цепь катушки контактора КМ, обеспечивая замыкание главных контактов пускателя. Одновременно замыкается блок - контакт КМ, шунтирующий кнопку. Теперь кнопку «Пуск» отпустить, так как электрическая цепь для прохождения тока сохраняется через кнопку «Стоп», блок - контакт КМ, катушку контактора, и контакты РТ и РТ тепловых реле.

Для отключения нереверсивного магнитного пускателя от источника тока, достаточно нажать кнопку «Стоп», которая разрывает цепь питания катушки, в результате чего якорь ее отпадает и пускатель разомкнет свои главные контакты от сети. Главные контакты также разомкнутся при исчезновении напряжения или понижении его в сети до 60-70% номинального значения.

### **Порядок выполнения работы**

1. Убедиться в отключенном состоянии вводного автоматического выключателя стенда №2.
2. Проверить отсутствие питания на электрооборудовании стенда индикатором напряжения.
3. Убедиться в исправности и целостности клемм, зажимов, корпусов электрических приборов и аппаратов стенда.
4. Проверить состояние изоляции, зажимов, проводов, соединяющих проводников.
5. Ознакомиться с электрической принципиальной схемой и схемой соединений стенда №2. (см. Приложение).
6. Изучить рекомендованную литературу в описание практической работы и записать паспортные данные аппаратов.
7. Ознакомиться с конструкцией нереверсивного магнитного пускателя и рассмотреть: главные контакты трехполюсного контактора, электромагнитную систему контактора.
8. Найти и проследить главную цепь и цепь управления магнитного пускателя.
9. Изучить электрические схемы двухкнопочной станции и нереверсивного магнитного пускателя.
10. Начертить схему включения обмотки катушки, нереверсивного магнитного пускателя ПМЕ-212 и показать ее преподавателю. Затем по этой схеме собрать электрическую цепь и дать проверить преподавателю.
11. С разрешения преподавателя подключить собранную по схеме электрическую цепь пускателя к источнику электроэнергии. Опробовать работу нереверсивного магнитного пускателя.
12. Сделать вывод о проделанной работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Для чего предназначен нереверсивный магнитный пускатель?
2. Назовите основные элементы магнитного пускателя.
3. Нарисуйте реверсивную схему запуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

## Лабораторная работа 3

**Тема работы:** Методы исследования температуры обмоток электродвигателей по их сопротивлению

**Цель работы:** Изучение метода сопротивления для определения установившейся температуры нагрева обмоток машин постоянного тока

### Краткие теоретические сведения

Допустимый нагрев электрических машин зависит от класса изоляции обмоток. Переход на более высокий класс изоляции электрической машины может быть осуществлен только при капитальном ремонте. Нужно твердо знать, что при повышении температур обмоток электрических машин сверх допустимых значений срок службы их изоляции резко сокращается. Температурой окружающего воздуха, при которой двигатель может работать с номинальной мощностью, считается  $40^{\circ}\text{C}$ . При повышении температуры окружающего воздуха выше  $40^{\circ}\text{C}$  нагрузка на двигатель должна быть снижена настолько, чтобы температура отдельных его частей не превышала допустимых значений.

Предельно допустимые превышения температуры активных частей двигателей при температуре газообразной охлаждающей среды  $40^{\circ}\text{C}$  и высоте над уровнем моря не более 1000 м должны соответствовать значениям ГОСТ для соответствующих классов изоляционных материалов и не должны превышать:  $65^{\circ}\text{C}$  для изоляции класса А;  $80^{\circ}\text{C}$  для изоляции класса Е;  $90^{\circ}\text{C}$  для изоляции класса В;  $110^{\circ}\text{C}$  для изоляции класса Г;  $135^{\circ}\text{C}$  для изоляции класса Н.

Если конструкция установки предусматривает водяное охлаждение газообразной охлаждающей среды, то разность температур между выходящей из охладителя и поступающей в охладитель водой не должна быть выше  $7-10^{\circ}\text{C}$ , при этом температура охлаждающей воды не должна превышать соответственно  $30-33^{\circ}\text{C}$ .

Чтобы не допустить отпотевания охлаждающих трубок (точки росы) воздухоохладителей в двигателях с замкнутым циклом вентиляции и увлажнения обмотки температура охлаждающей воды должна быть не ниже  $10-15^{\circ}\text{C}$ .

Работа двигателя при пониженном напряжении в сети более 5% или повышенном более чем на 10% номинального не допускается.

Асинхронные короткозамкнутые электродвигатели, получившие наибольшее распространение, с уменьшением напряжения сети снижают пропорционально квадрату напряжения пусковой и максимальной токи, в результате этого может произойти опрокидывание двигателя. Уменьшение напряжения ниже 95% номинального приводит к значительному увеличению тока и нагреву обмоток. Рост напряжения выше 110% номинального сопровождается увеличением выделяемого в активной стали двигателя тепла и повышением температуры обмоток статора.

Если частота переменного тока питающей сети в пределах  $\pm 2,5\%$  номинального значения, то электродвигатель может длительно работать с паспортной нагрузкой, если нет особых указаний завода-изготовителя. При одновременном отклонении напряжения и частоты переменного тока от номинальных значений работа двигателей с номинальной нагрузкой допускается, если сумма абсолютных значений (в процентах) этих отклонений не превышает 10% и каждое из отклонений не превышает нормы. Независимо от снижения температуры окружающего воздуха увеличивать токовые нагрузки более чем на 10% номинального не допускается.

Температуру отдельных частей машин измеряют ртутными или спиртовыми термометрами, прикладываемыми к доступным частям, а так же методом сопротивления и температурными датчиками, заложенными в обмотки и другие части машины.

### Порядок выполнения работы

Убедиться в отключенном состоянии вводного автоматического выключателя QF стенда №6.

Проверить отсутствие напряжения на оборудовании стенда индикатором.

Убедиться в исправности и целостности клемм, зажимов, корпусов электроприборов и аппаратов стенда.

Проверить состояние изоляции зажимов проводов, соединительных проводников.  
 Ознакомиться с электрической принципиальной схемой и схемой соединения стенда № 6 (рисунок 2).

Записать технические характеристики (данные) электродвигателя и измерительных приборов в таблицу 1.

Таблица 1. Технические характеристики используемого электрооборудования

Наименование	Технические характеристики
Индикатор напряжения	
Электродвигатель	
Мегаомметр	
Омметр (мост)	
Лабораторный стенд №6	

### 7. ОПЫТ№1

Измерить сопротивление изоляции между обмотками и относительно корпуса. Корпус электродвигателя заземлен. Измерения проводить мегаомметром. Данные записать в таблицу 2.

Таблица 2. Сопротивления межвитковой изоляции

Исследуемое электрооборудование	Сопротивление, МОм						Допустимые значения
	Ш-К	С-К	Я-К	Ш-С	С-Я	Я-Ш	

### ОПЫТ №2

Измерить омметром (мостом) сопротивление обмоток: Ш1-Ш2, С1-С2, Д2-Я1 машины постоянного тока (двигатель длительное время был отключен) и данные записать в таблицу 3.

Таблица 3. Сопротивления обмоток в холодном состоянии

Исследуемое электрооборудование	Сопротивление, Ом		
	Ш1-Ш2	С1-С2	Я1-Д2
Обмотки возбуждения			

8. Собрать схему согласно рисунка 1.

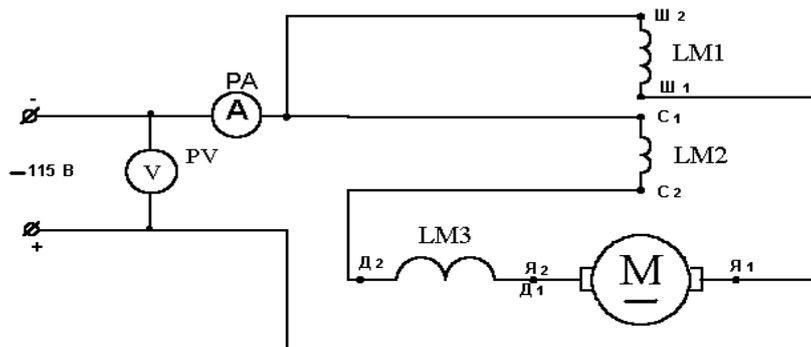


Рисунок 1. Схема подключения электродвигателя

9. С разрешения преподавателя подключить электродвигатель к источнику питания.
10. Двигатель должен работать 30 минут.
11. Отключить электродвигатель и измерить сопротивление обмоток двигателя в горячем состоянии. Данные записать в таблицу 4.

Таблица 4. Сопротивления обмоток в горячем состоянии

Исследуемое электрооборудование	Сопротивление, Ом		
	Ш1-Ш2	С1-С2	Я1-Д2
Обмотки возбуждения			

12. Определить температуру нагрева обмоток по формуле:

$$Q_{уст} = \frac{R2 - R1}{\alpha \cdot R1} + Q1;$$

где  $Q_{уст}$  - температура обмотки установившаяся; °С

$Q1$  - температура обмотки до включения, т. е.  $t$  окружающей среды; С°

$\alpha$  - температурный коэффициент для меди и алюминия = 0,004;

$R1$ -сопротивление обмотки до включения (в холодном состоянии), Ом;

$R2$ - сопротивление обмотки после работы (в горячем состоянии), Ом;

13. Ответить на контрольные вопросы, сделать вывод.

#### Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность метода сопротивления?
2. При какой температуре окружающего воздуха электродвигатель может работать с номинальной мощностью?
3. Предельно допустимые превышения температуры активных частей электродвигателей?

## Лабораторная работа 4

**Тема работы:** Определение отдельных фаз обмоток трехфазного электродвигателя и маркировка выводов

**Цель работы:** Создать условия для определения отдельных фаз обмоток трехфазного электродвигателя и маркировки выводов.

### Краткие теоретические сведения

Бывают случаи, когда поступившие на монтаж электродвигатели не укомплектованы или не собраны доска зажимов и выводы обмоток не маркированы или по каким-либо причинам перепутана маркировка. Кроме того, всегда при выходе двигателя из капитального ремонта, или при нарушении нормального режима работы машин, необходимо проверить правильность выполнения внутренних соединений обмоток. Во всех случаях возникает необходимость проверки правильности соединений выводов трехфазных обмоток, которая сводится к определению начала и концов обмоток.

Начало и конец обмоток статора электродвигателя можно определить с помощью вольтметра используя принцип работы трансформатора. Для этой цели трехфазные обмотки статора электродвигателя используются как трансформатора. Все обмотки статора имеют общую магнитную систему, и если по одной из обмоток пропустить переменный ток, то во всех других обмотках, как и во вторичной цепи – обмотке трансформатора, будет индуцироваться электродвижущая сила, а при замыкании цепи обмотки по каждой из них потечет электрический ток. При соединении двух вторичных обмоток статора последовательно увеличивается число витков и, следовательно, увеличится индуцирующаяся электродвижущая сила. В этом можно убедиться, если измерить вольтметром напряжение сначала на каждой обмотки статора, а затем на обоих обмотках, которые соединены последовательно. Но вольтметр покажет большую электродвижущую силу только в том случае, если правильно осуществлено последовательное соединение. Соблюдено одинаковое напряжение витков, т.е. конец одной обмотки присоединен к началу второй. Если неправильно соединены обмотки (начало одной с началом второй или конец с концом) и направление витков не соблюдено, электродвижущие силы обмоток статора окажутся, направлены встречно и компенсируют друг друга. В этом случае стрелка вольтметра останется на нуле.

### Порядок выполнения работы

1. Убедиться в отключенном состоянии вводного автоматического выключателя.
2. Проверить отсутствие напряжения на электрооборудовании стенда индикатором напряжения.
3. Убедиться в исправности и целостности клемм, зажимов, корпусов электрических приборов и аппаратов стенда.
4. Проверить состояние изоляции, зажимов, проводов, соединяющих проводников.
5. Ознакомиться с электрической принципиальной схемой и схемой соединений.
6. Записать технические данные (паспортные) электродвигателя, измерительных приборов и оборудования в таблицу 1.

Таблица 1 Технические данные используемого электрооборудования

Наименование	Технические данные
Индикатор напряжения	
Электродвигатель	
Мегаомметр	
Мультиметр	

7. Прозвонить обмотки двигателя, с целью проверки на отсутствие обрыва.
8. Определить выводы, принадлежащие одной и той же обмотке, с помощью мегомметра

и выводы пронумеровать I - I; II - II; III - III, как показано на рисунке 1.

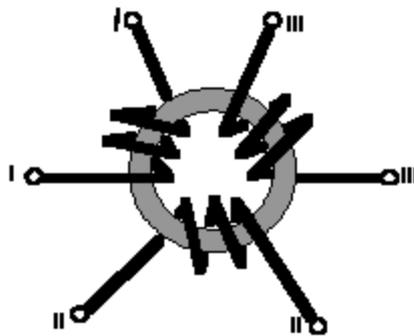


Рисунок 1. Принадлежность выводов обмоток электродвигателя

9. Для определения начала и конца обмоток:

а) первую обмотку статора подключить к источнику переменного тока напряжением 50 В, на зажимах второй и третьей обмотки измерить напряжение, как показано на рисунке 2

б) вольтметр показывает отсутствие напряжения. Промаркировать конец и начало обмоток как показано на рисунке 2

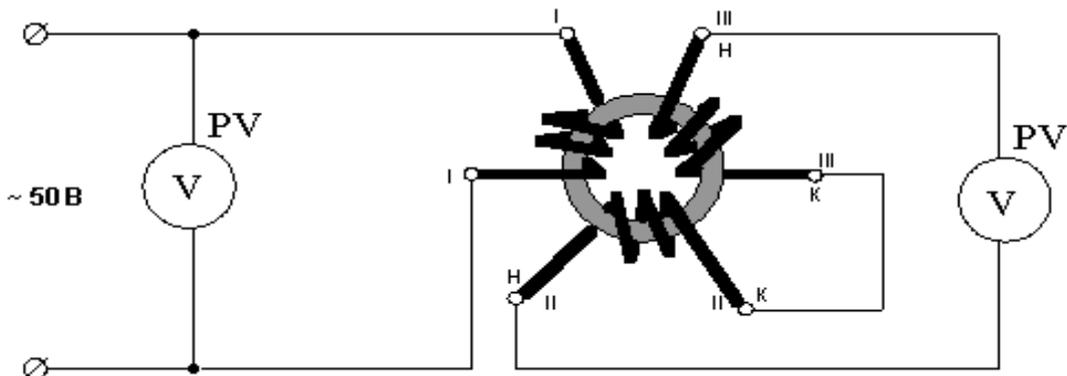


Рисунок 2. Подключение обмоток электродвигателя

в) собрать схему, как показано на рисунке 3. Вольтметр показал наличие напряжения 12В

г) промаркировать конец и начало обмоток, как показано на рисунке 3

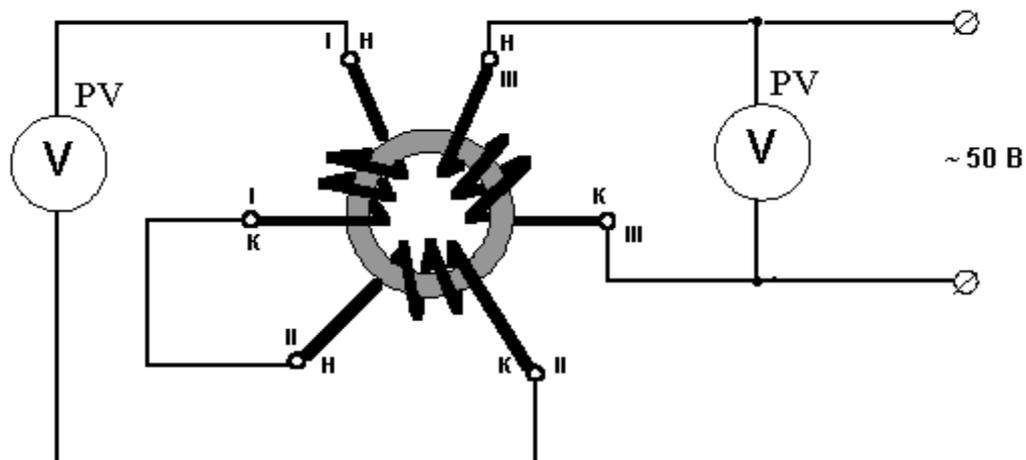


Рисунок 3. Схема подключения обмоток электродвигателя

д) собрать схему согласно рисунка 4 и подключить к источнику питания

е) вольтметр, подключенный к обмоткам второй и третьей, показал напряжение 12В

ж) пронумеровать выводы обмоток, как указано на рисунке 4

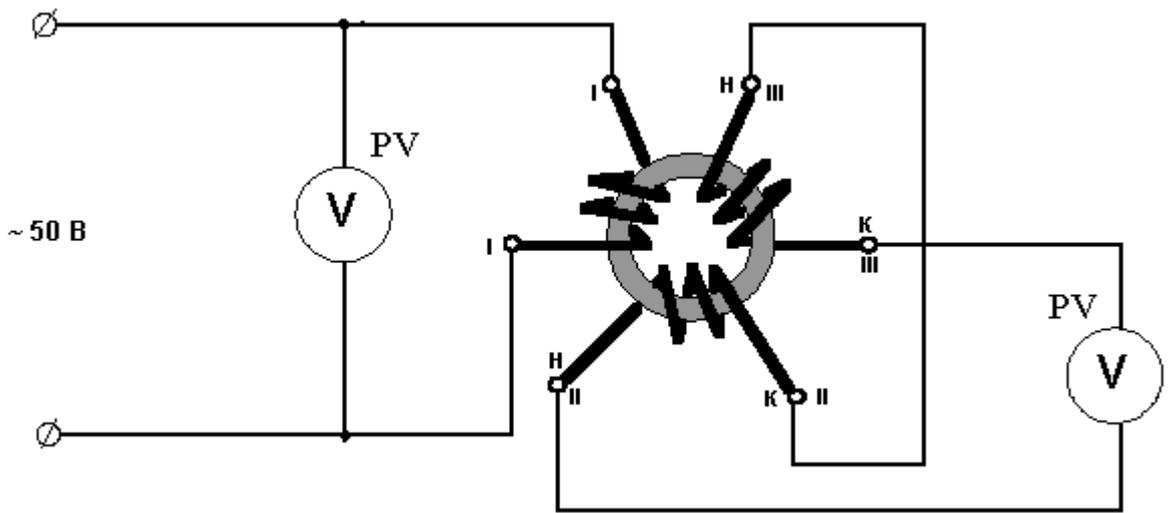


Рисунок 4. Подключение обмоток электродвигателя

- з) обозначить и расположить выводы обмоток на клеммных зажимах электродвигателя.  
 10. Собрать схему согласно рисунка 5.

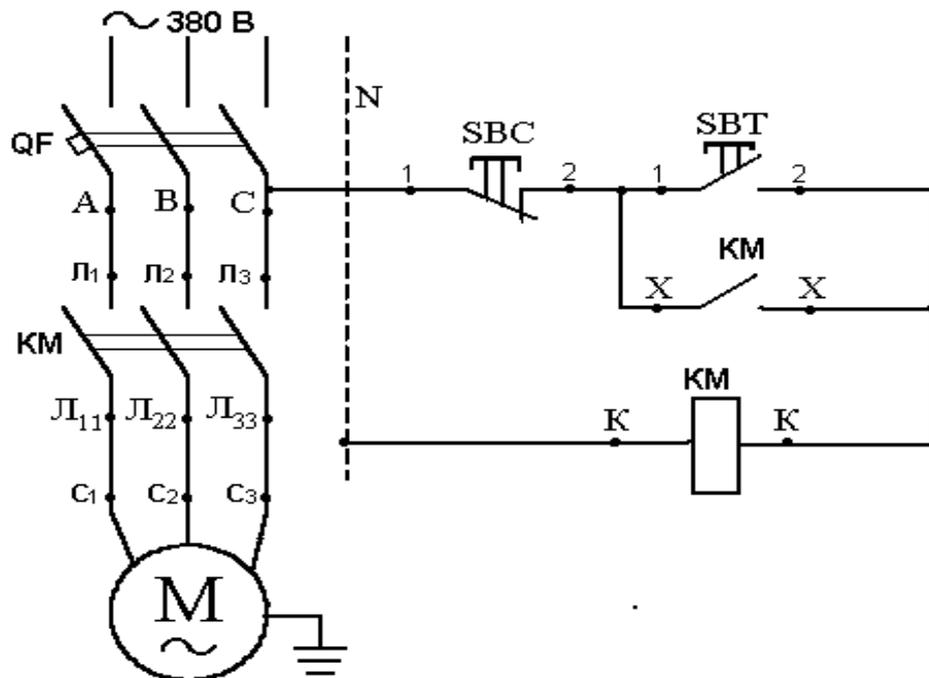


Рисунок 5. Схема подключения электродвигателя

11. С разрешения преподавателя подключить электродвигатель к источнику питания.  
 12. Ответить на контрольные вопросы, сделать вывод.

### Контрольные вопросы

1. Что произойдет если соединить две вторичные обмотки статора последовательно ?
2. В каком соединении обмоток стрелка вольтметра окажется на нуле?
3. С помощью чего можно определить начало и конец обмоток статора электродвигателя?

## Лабораторная работа 5

**Тема работы:** Измерение сопротивления изоляции обмоток электродвигателя

**Цель работы:** Изучение метода определения сопротивления установившейся температуры нагрева обмоток

### Краткие теоретические сведения

Для двигателей переменного тока изоляция обмотки статора должна быть не менее 0,5 МОм. Сопротивление обмотки ротора и фазных двигателей не менее 0,2 МОм, сопротивление у двигателей переменного тока различных фаз должно отличаться друг от друга не более чем на 2%.

Наиболее чувствительна к нагреву электрическая изоляция обмоток. Под действием высоких температур происходит тепловое старение изоляции, проявляющееся в ухудшении ее изоляционных и механических свойств.

Электроизоляционные материалы, применяемые в электродвигателях делят на пять классов нагревостойкости. Каждому классу соответствует допустимая предельная температура нагрева, при которой изоляция может надежно работать в течение длительного времени. При превышении указанной температуры, срок службы изоляции резко сокращается. Стандарты устанавливают предельно допустимые превышения температуры частей электрической машины. В соответствии с ГОСТ 18374 за температуру окружающей среды принята температура 40° С. Исходя из этого, превышение температуры какой-либо части машины определяется выражением:

$$\tau_{уст} = Q_{уст} - 40; \text{ где } (^\circ \text{C}),$$

$\tau_{уст}$  – установившаяся температура нагрева обмотки машины ° С.

Продолжительность времени работы зависит от режима работы машины и ее массы может составлять от 2 до 5 часов.

### Порядок выполнения работы

1. Проверить отсутствие напряжения на оборудовании индикатором напряжения.
2. Убедиться в исправности и целостности клемм, зажимов, корпусов электрических приборов и аппаратов стенда.
3. Проверить состояние изоляции, зажимов, проводов, соединяющих проводников.
4. Ознакомиться с электрической принципиальной схемой и схемой (рисунок 2).
5. Записать технические данные (паспортные) электродвигателя, измерительных приборов и оборудования в таблицу 1.

Таблица 1 Технические данные оборудования

Наименование	Технические характеристики
Индикатор напряжения	
Электродвигатель	
Мегаомметр	
Омметр (мост)	
Мультиметр	
Лабораторный стенд №2	

### 6. ОПЫТ №1

Измерить сопротивление межвитковой изоляции между обмотками и относительно корпуса для двигателя переменного тока. Измерение проводить мегомметром. Корпус электродвигателя на стенде заземлён. Данные записать в таблицу 2.

Таблица 2 Результаты измерений сопротивления межвитковой изоляции

Исследуемое электрическое оборудование	Сопротивление, МОм						Допустимое значение
	А-К	В-К	С-К	А-В	В-С	С-А	
Электродвигатель переменного тока							

## 7. ОПЫТ №2

Измерить омметром (мостом) сопротивление обмоток статора (электродвигатель был длительно отключён), данные записать в таблицу 3.

Таблица 3 Данные измерения сопротивления обмоток в холодном состоянии

Исследуемое электрическое оборудование	Сопротивление, Ом		
	Фаза (А)	Фаза (В)	Фаза (С)
Электродвигатель переменного тока			

8. С разрешения преподавателя подключить электродвигатель к сети по схеме:

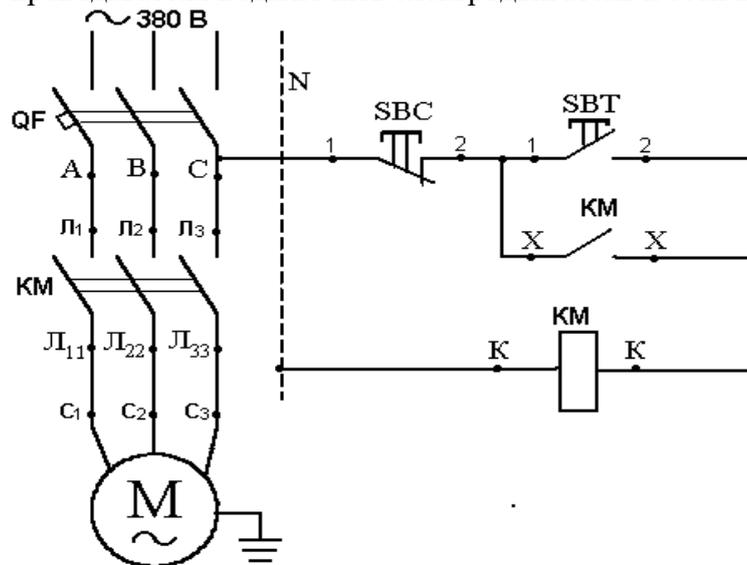


Рисунок 1 Схема подключения электродвигателя

Примечание: Все электрические соединения пусковой аппаратуры сделаны внутри стенда. Соединить обмотки двигателя в «звезду» и подать на них напряжение на силовые клеммы С 1, С 2, С 3.

а) двигатель должен работать 30 минут.

б) отключить электродвигатель и омметром (мостом) измерить сопротивление обмоток в горячем состоянии. Данные записать в таблицу 4.

Таблица 4 Данные измерения сопротивления обмоток в горячем состоянии

Испытуемое электрооборудование	Сопротивление, Ом		
	Фаза (А)	Фаза (В)	Фаза (С)
Электродвигатель переменного тока			

10. Подсчитать температуру нагрева обмотки по формуле:

$$Q_{уст} = \frac{R_2 - R_1}{\alpha \cdot R_1} + Q_1;$$

где  $Q_{уст}$  - температура обмотки установившаяся; [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$Q_1$  - температура обмотки до включения, т. е.  $t$  окружающей среды; [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\alpha$  - температурный коэффициент для меди и алюминия = 0,004; [ $\text{K}^{-1}$ ]

$R_1$  - сопротивление обмотки до включения (в холодном состоянии); [ $\text{Oм}$ ]

R2 - сопротивление обмотки после работы (в горячем состоянии); [Ом]

11. Ответить на контрольные вопросы, сделать вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Зачем испытывают обмотки на электрическую прочность?
2. Основные приборы и приспособления необходимые для проведения испытаний?
3. Зачем нужно знать температуры обмоток двигателя?
4. Какие классы нагревостойкости изоляции применяются в машинах переменного тока?
5. Почему с увеличением температуры увеличивается сопротивление обмоток?

## Лабораторная работа 6

**Тема работы:** Измерение сопротивления защитного заземления электрооборудования и сопротивления петли «фаза-нуль»

**Цель работы:** Изучение метода измерения защитного заземления электрооборудования и сопротивления петли «фаза-нуль»

### Краткие теоретические сведения

В электроустановках напряжением ниже 1000В с глухозаземлённой и изолированной нейтралью защита участков сети осуществляется автоматическими выключателями, реагирующими на сверхток, как основной параметр аварийного состояния электроустановки (ГОСТ Р50571-2, ПУЭ). Электроустановки с изолированной нейтралью участки сети могут дополнительно защищаться устройствами защитного отключения (УЗО), реагирующими на сверхток, устройствами контроля изоляции и т.п. В электроустановках с глухозаземлённой нейтралью УЗО также могут применяться для защиты розеточных групп зданий, при условии, что к этим розеткам могут быть подключены переносные электроприборы.

Для проверки временных параметров срабатывания защитных устройств, реагирующих на сверхток (автоматических выключателей), проводится измерение полного сопротивления петли «фаза-нуль» или токов однофазных замыканий. Работа устройств защитного отключения проверяется другим образом.

Полное сопротивление петли «фаза-нуль», и, соответственно, ток однофазного замыкания будет зависеть в основном от нескольких факторов: характеристик силового трансформатора, сечения фазных и нулевых жил питающего кабеля или ВЛ и контактных соединений в цепи.

Проводимость фазных и нулевых проводников на практике можно не только определить, но и изменить, кроме того, расчётное определение проводимости, в стадии проектирования электроустановки может исключить множество проектных ошибок.

Согласно ПУЭ проводимость нулевого рабочего должна быть не ниже 50% проводимости фазных проводников, в необходимых случаях она может быть увеличена до 100% проводимости фазных проводников. Проводимость нулевых защитных проводников должна соответствовать требованиям главы 1.7 ПУЭ:

«1.7.126. Наименьшие площади поперечного сечения защитных проводников должны соответствовать табл. 1.7.5. Площади сечений приведены для случая, когда защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. Сечения защитных проводников из других материалов должны быть эквивалентны по проводимости приведенным».

Измерение проводится в 2 этапа:

### 1. Внешний осмотр

Проводим тщательный внешний осмотр:

- силовых сборок и щитов
- однолинейной принципиальной схемы электроснабжения
- номинальных токов автоматических выключателей и предохранителей
- сечений отходящих линий
- аппаратов защиты на наличие механических повреждений

### 2. Измерение петли фаза-ноль

Перед измерением необходимо проверить плотность соединения проводов к аппаратам защиты. Если провода не протянуты - то смысла измерения нет, т.к. полученные показатели получатся не достоверными.

Замер петли фаза-ноль производим на самой удаленной точке измеряемой линии.

*Если же проблематично определить самую дальнюю точку линии, то проводим измерение по всем точкам этой линии.*

Измеренные величины записываем в протокол измерений

## Методика измерения петли фаза-нуль. Как провести замер?

Существует несколько методов измерения:

- метод падения напряжения в отключенной цепи
- метод падения напряжения на нагрузочном сопротивлении
- метод короткого замыкания цепи

Электроработники используют для измерения петли фаза-нуль электроизмерительный прибор MZC-200 от фирмы Sonel, который работает по методу падения напряжения на нагрузочном сопротивлении. Этот метод рекомендуется к использованию ГОСТом 50571.16-99 (приложение D1).

*Данный метод измерения более удобным, а главное безопасным.*

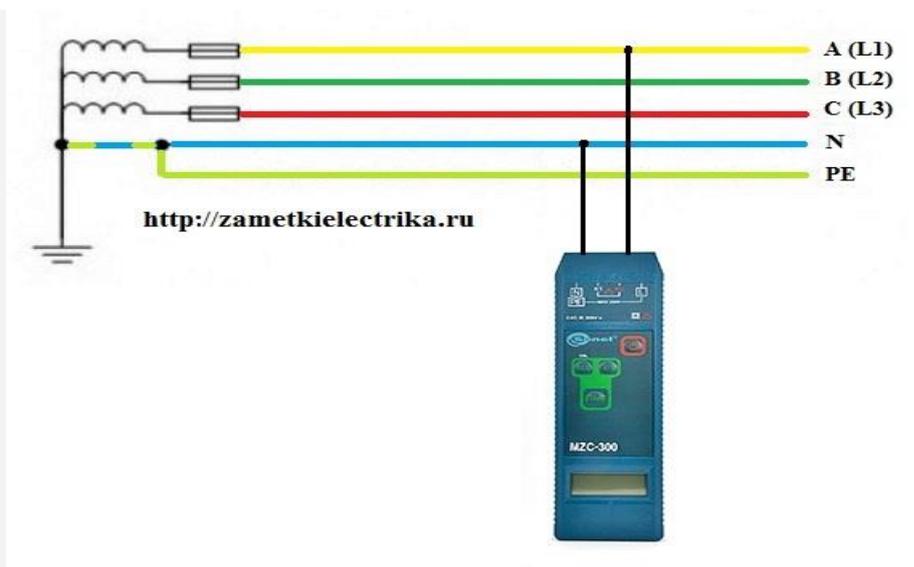


Рисунок 1. Измерение в рабочей цепи А (L1) — N

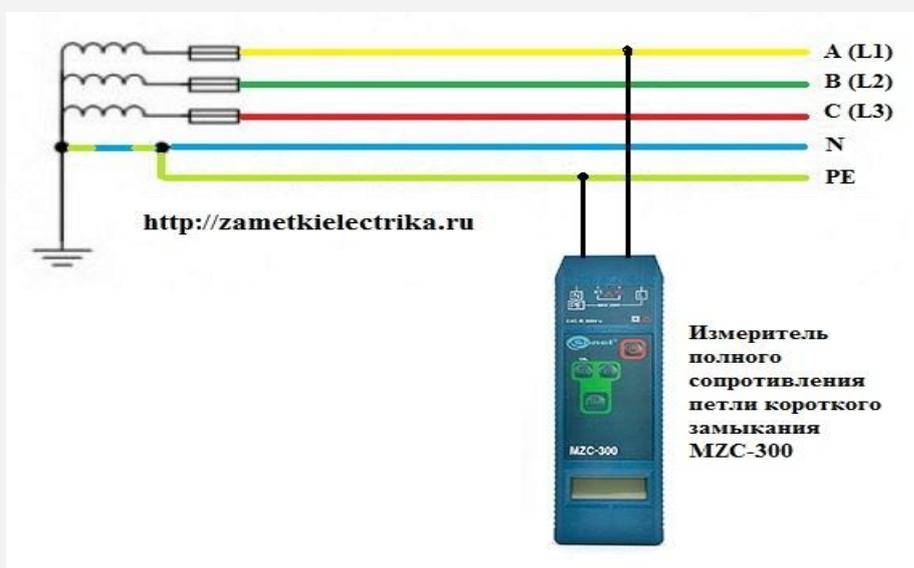


Рисунок 2. Измерение в защитной цепи А (L1) — PE

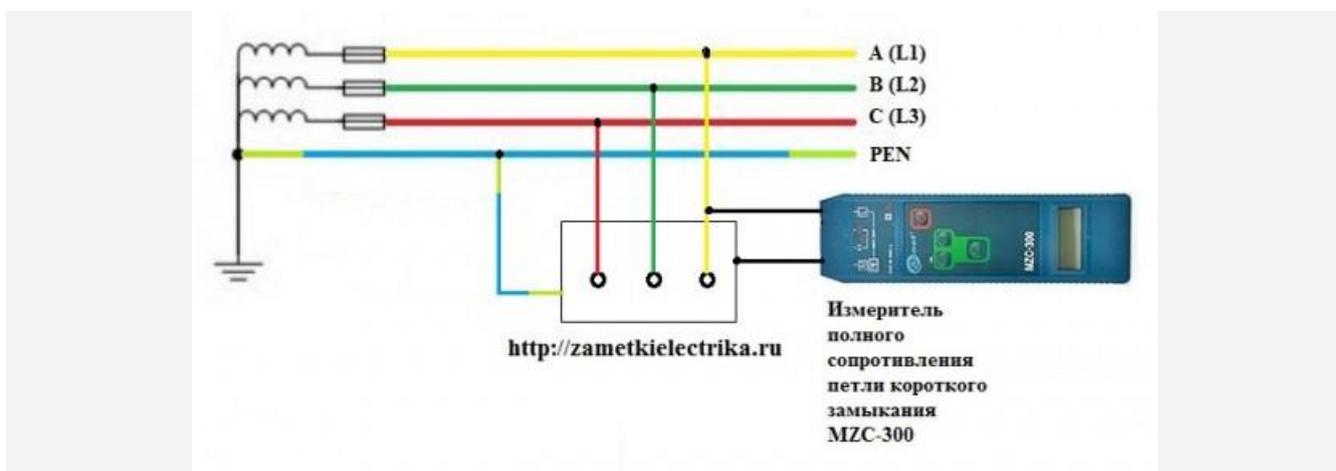


Рисунок 3. Проверка защиты от замыкания на корпус электрооборудования в системе заземления TN

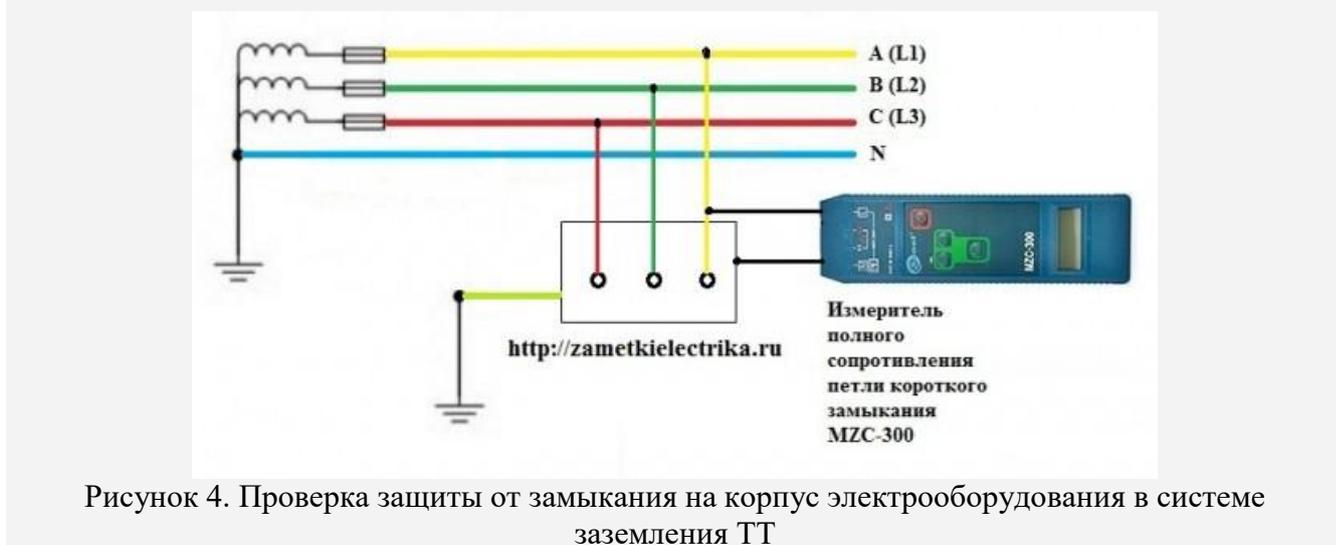


Рисунок 4. Проверка защиты от замыкания на корпус электрооборудования в системе заземления TT

*Измерение сопротивления петли проводится на электроустановке, которая находится под напряжением.*

Как пользоваться прибором MZC-200, более подробно, можно узнать в руководстве по эксплуатации данного прибора.

#### Периодичность проведения измерений

Согласно нормативно-технического документа ПТЭЭП, измерение петли фаза-ноль проводится с определенной периодичностью, установленной системой планово-предупредительного ремонта (ППР) организации. Система ППР, включающая в себя циклы текущих и капитальных ремонтов электрооборудования, утверждается техническим руководителем организации.

Для электроустановок во взрывоопасных зонах, не менее 1 раза в 2 года.

При отказе устройств защиты электроустановок должны выполняться внеплановые электрические измерения.

#### Как сделать заключение?

Выполнив замер петли фаза-ноль по вышеприведенным схемам, на дисплее прибора отразится величина однофазного тока короткого замыкания.

Это значение сравнивается по время-токовым характеристикам с током срабатывания расцепителя автоматического выключателя или с плавкой вставкой предохранителя, и делаем соответствующее заключение.

Для более наглядного представления, как сделать правильное заключение при измерении ПФО, приводится пример.

### **Пример:**

Производили замер петли фаза-ноль в помещении библиотеки. Измеряемая линия питается от силовой сборки ЩС автоматическим выключателем с номинальным током 16 (А) и характеристикой С.

Измерение проводим на самой отдаленной точке этой линии, в примере это розетка, расположенная в самом дальнем углу библиотеки.

Электроснабжение библиотеки выполнено системой заземления TN-C. Поэтому измерение производим в рабочей цепи (фаза - ноль).

Измеренный ток однофазного короткого замыкания, который показал прибор, составлял **87 (А)**.

*Внимательно читаем информацию, приведенную на картинке выше.*

В данном примере воспользуемся пунктом из ПТЭЭП. Т.е. ток однофазного замыкания должен быть не менее, чем  $1,1 * 16 * 10 = 176$  (А). Ток получился 87 (А) - **условие не выполняется**.

При токе 87 (А) электромагнитная защита автоматического выключателя не сработает, а сработает тепловая защита, выдержка времени которой составит несколько секунд (больше, чем 0,4 секунды - ПУЭ). За это время есть большой риск возникновения воспламенения или пожара электропроводки.

### **Вывод:**

В данном примере условие не удовлетворяет требованиям ПТЭЭП и ПУЭ. Поэтому необходимо:

- увеличить сечение проводов, измеряемой линии (при увеличении сечения провода уменьшается его сопротивление, а значит и увеличится ток однофазного замыкания, который пройдет по нашим условиям)
- установить автоматический выключатель с меньшим номинальным током (при уменьшении номинала автомата мы тем самым жертвуем мощностью линии)

Форма протокола измерения петли фаза-ноль



Самым последним этапом является занесение величин измерений в протокол.

### **Контрольные вопросы**

1. От чего будет зависеть полное сопротивление петли «фаза-нуль»?
2. Для каких электроприемников производится проверка сопротивления петли фаза-нуль?
3. В каких электроустановках используется УЗО?

## Лабораторная работа 7

**Тема работы:** Определения места повреждения кабельных линий методом колебательного разряда

**Цель работы:** Создать условия для определения мест повреждения кабельных линий

### Краткие теоретические сведения

Методом колебательного разряда производится определение зоны повреждения кабельной линии, выполненной кабелем до 10 кВ.

Измерение производится прибором ЭМКС-58М.

Прибор ЭМКС-58М (рисунок 1) присоединяется к испытуемой жиле кабеля через делитель напряжения. Если провод, соединяющий кабель с выпрямительной установкой имеет длину более 5м, то необходимо установить зарядное сопротивление, располагая его непосредственно перед делителем напряжения.

Жила кабеля заряжается от кенотронной установки или иного выпрямителя.

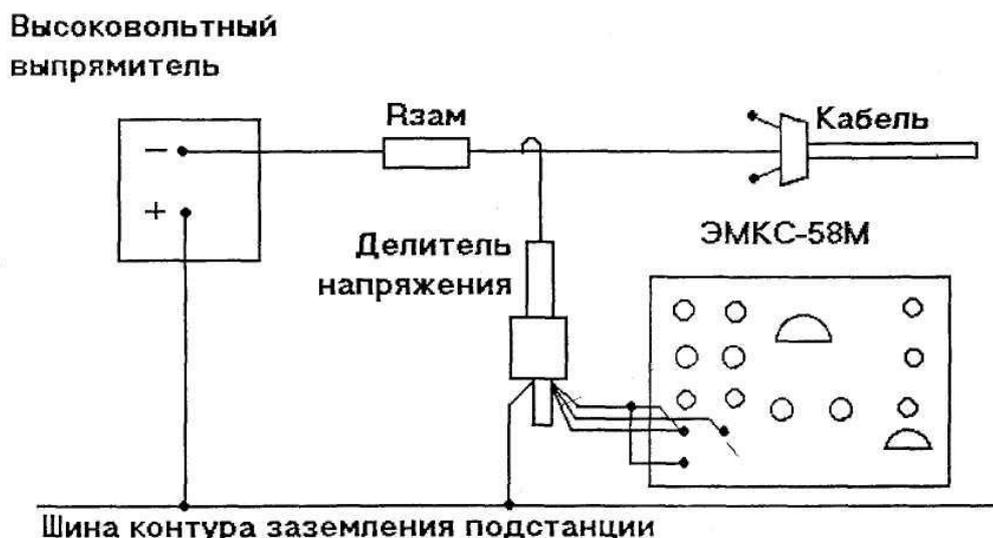


Рисунок 1. Схема присоединения измерительного прибора ЭМКС-58М к кабельной линии

Установка высокого напряжения должна создавать разряд на жиле кабеля отрицательного потенциала по отношению к земле. Только при этом условии прибор производит измерение. При пробое изоляции происходит разряд в кабеле колебательного характера; период колебаний  $T$  этого разряда соответствует времени четырехкратного пробега волны до места повреждения. Для получения большой точности при определении расстояния до места повреждения прибором измеряется только время первого полупериода колебания, подверженное наименьшему искажению и затуханию. Отчет расстояния производится по шкале прибора градуированной в километрах.

### Примечание

1. Присоединение прибора к испытуемому кабелю и отключение от него должно производиться при обесточенном отключенном и разряженном кабеле с соблюдением "Правил безопасности при эксплуатации электрических устройств".
2. Перед работой корпус прибора и экран делителя напряжения должны быть заземлены.
3. Делитель напряжения и зарядное сопротивление устанавливать около зажимов испытуемого кабеля - не далее 3 м.
4. Высоковольтная установка должна создавать на жиле кабеля заряд отрицательного потенциала по отношению к земле.

### Порядок измерения

- №
1. Убедиться в отключенном состоянии вводного автоматического выключателя стенда
  2. Проверить отсутствие напряжения на электрооборудовании стенда индикатором напряжения.
  3. Убедиться в исправности и целостности клемм, зажимов, корпусов электрических приборов и аппаратов стенда.
  4. Проверить, состояние изоляции, зажимов, проводов, соединяющих проводников.
  5. Ознакомиться с электрической принципиальной схемой и схемой соединений стенда.
  6. Собрать схему.
  7. Включить питание прибора.
  8. Поставить тумблер "Измерение-установка шкалы" в положение "Измерение".
  9. При нажатой кнопке "Сброс" ручкой "Установка нуля" поставить стрелку прибора на отметку "0".
  10. Ручкой "Стабилизация нуля" добиться, чтобы стрелка прибора не уходила с отметки "0" при отпускании кнопки "Сброс".
  11. Поставить тумблер "Измерение-установка шкалы" в положение "Измерение".
  12. Ручкой "Установка шкалы" поставить стрелку на конец шкалы.
  13. Поставить тумблер "Измерение-установка шкалы" в положение "Измерение".
  14. Поставить тумблер "Чувствительность" в положение "Больше".
  15. Поставить переключатель "Километры" на предлагаемый предел измерения.
  16. Проверить Работоспособность прибора нажав кнопку "Контроль" (прибор должен дать показания порядка 1км).
  17. Нажав и отпустив кнопку "Сброс", привести прибор в готовность к измерениям (стрелка прибора должна приближаться к отметке "0" и должна загореться лампочка "Индикатор").
  18. Постепенно поднять испытательное напряжение на кабеле. При пробое изоляции прибор срабатывает: гаснет лампочка "Индикатор", прибор дает показание расстояния до места пробоя.
  19. Сделать вывод о проделанной работе.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Какие методы нахождения места повреждения вы знаете?
2. В чем сущность метода колебательного разряда?

## Лабораторная работа 8

**Тема работы:** Определения места повреждения кабельных линий индукционным методом

**Цель работы:** Создать условия для определения мест повреждения кабельных линий индукционным методом

### Краткие теоретические сведения

Индукционный метод применяется при определении места повреждения кабельной линии непосредственно на трассе при пробое изоляции двух или всех трех жил кабеля, а также в случае обрыва жил с одновременным пробоем изоляции между жилами или пробоем изоляции на землю.

Определить место повреждения кабельной линии при однофазном повреждении индукционным методом можно только при условии, если искусственно перевести однофазное повреждение в двух или трехфазное путем выжигания междуфазной изоляции в месте повреждения кенотронной или газотронной установками.

Индукционный метод основан на принципе прослушивания с поверхности земли с помощью телефонных трубок звука, создаваемого магнитным полем, в результате протекания по жилам кабеля тока тональной частоты.

Оператор, снабженный рамкой (антенной), усилителем и телефоном, отправляется в заранее определенную каким-либо относительным методом зону повреждения, где передвигается по трассе кабельной линии, определяем ее расположение по звуку в телефоне и сверяя с исполнительными чертежами.

Звук в телефоне будет слышен на участке трассы, где по кабелю проходит ток звуковой частоты, т.е. на участке от генератора до места повреждения. За местом повреждения ток по жилам кабеля не проходит, и поэтому звук прекращается.

При пользовании индукционным методом для уточнения места повреждения рекомендуется включить генератор с другого конца кабельной линии и произвести повторное определение места повреждения.

При следовании оператора по трассе звук в телефоне может усиливаться или ослабляться, а при поворотах и углублениях совсем исчезать. В месте, где звук пропадает, следует производить проверку путем обхода места по концентрическим окружностям, начиная с радиуса 1-2 м и более.

При индукционном методе место повреждения для кабельных линий, проложенных на нормальной глубине, может быть найдено достаточно точно при величине тока 15А и более, при частоте 800-1200 Гц.

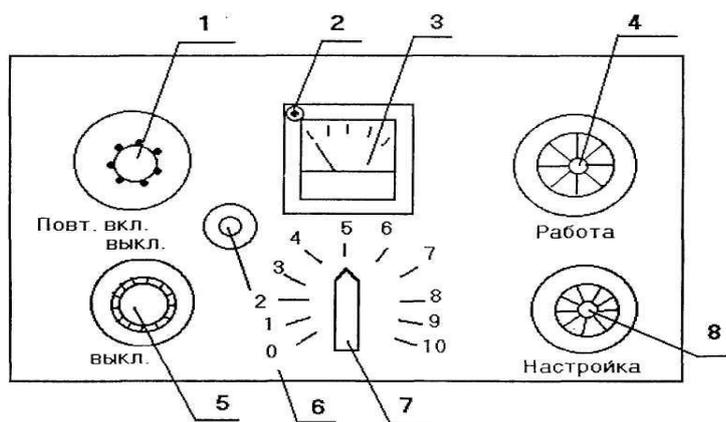


Рисунок 2. Внешний вид прибора

Конструкция:

1 - Предохранитель; 2 - Кнопка; 3 - Прибор со шкалой; 4 - Лампа; 5 - Кнопка; 6-Тумблер питания; 7 - Переключатель U; 8 - Переключатель рода работы;

### Меры безопасности

1. Присоединение генератора к кабелю производится только в выключенном состоянии.
2. Перед началом работы внешним осмотром проверяют состояние соединительных кабелей и разъемов: отсутствие трещин, сколов, нарушения изоляции, грязи.

Перед установкой заземлителя необходимо с помощью приемника убедиться в том, что в выбранном для заземления месте не проложен кабель.

Не допускается присоединение генератора в колодцах.

3. При работе с генератором не допускать посторонних лиц.

### Подготовка трассоискателя к работе

Перед включением прибора необходимо проверить состояние источников питания. Проверка работоспособности генератора производится без присоединения нагрузки и состоит в следующем:

1. проверяется правильность включения питания;
2. блок питания соединяется кабелем с блоком генератора. Нажатием кнопки измерительного прибора, убеждаются в том, что на генератор подается питание и величина его не менее 12В;
3. переключатель рода работы устанавливается в положение "Настройка", а переключатель выходных напряжений в положение "0";
4. тумблером включить генератор, при этом прибор должен показать ток не более 1А. Сигнальная лампочка свидетельствует о работоспособности генератора;
5. переключатель рода работы переводится в положение "Работа".

Для проверки работоспособности приемника необходимо:

1. головные телефоны подключить к приемнику посредством штепсельного разъема;
2. включить питание и убедиться в наличии шума в наушниках;
3. приблизив приемник к работающему генератору на расстояние 1-2м, убедиться в наличии сигнала частотой 1000 Гц. При отсутствии генератора поднести приемное устройство к проводам электропроводки и убедиться в наличии тока частотой 50 Гц.

Создание цепи переменного тока в исследуемой коммуникации осуществляется путем присоединения выхода генератора к коммуникации. После настройки генератора включить переключатель в положение "Работа". Включив приемник, приступают к прослушиванию коммуникации. Наибольшая громкость достигается при ориентации оси магнитной антенны параллельно земле и перпендикулярно оси коммуникации.

Прослушивание начинают на расстоянии 10-15м, от точки подключения генератора. Наиболее точное определение оси коммуникации производится по минимуму звука в телефонах, для чего магнитную антенну располагают перпендикулярно поверхности земли, и перемещают перпендикулярно оси коммуникации.

К выходу присоединяется испытуемый кабель и с помощью антенны находится место повреждения кабеля.

*Примечание:* Трансформатор, выпрямитель, ТПК-1 находится внутри стенда, их клеммы выведены на стенде. Трансформатор подключен.

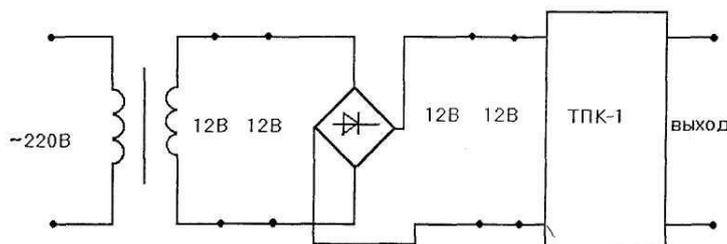


Рисунок 3. Схема измерения

### Контрольные вопросы:

1. Какие методы нахождения места повреждения вы знаете?
2. В чем сущность индукционного метода?

## Лабораторная работа 9

**Тема работы:** Составление технологической карты ступенчатой разделки силового кабеля напряжением до 10кВ с бумажной изоляцией

**Цель работы:** Научить производить разделку кабеля с бумажной изоляцией.

### Краткие теоретические сведения

При монтаже кабельных линий возникает необходимость, как соединять кабели между собой (для чего применяют соединительные и ответвительные муфты), так и подсоединять кабели к различным электрическим аппаратам и устройствам (для чего применяют концевые заделки и концевые муфты).

Для выполнения муфт и заделок сначала производится ступенчатая разделка кабеля. Перед разделкой кабеля производят испытание бумажной изоляции кабеля, погружая ленты бумажной изоляции, прилегающие к оболочке и к жиле, в парафин, нагретый до 150С°. Признаком наличия влаги является потрескивание и образование пены. В этом случае от конца кабеля отрезают участки длиной 250-300 мм и производят повторную проверку. Операцию проводят до получения положительных результатов. Если влага проникла глубоко, то кабель бракуют. Технология выполнения разделки кабеля зависит от назначения муфты или заделки, ее материала и номинального напряжения, при котором она должна применяться.

В маркировку муфт и заделок входят буквенные и цифровые символы, каждый из которых имеет свою расшифровку.

В начале обозначения ставится буква, определяющая назначение муфты (заделки):

- С - муфта соединительная;
- О - муфта ответвительная;
- Ст - муфта стопорная;
- СП - муфта переходная;
- КВ - муфта (заделка концевая внутренней установки);
- КН - муфта концевая наружной установки.

После маркировки, определяющей назначение, ставится буква, обозначающая материал муфты:

- Ч - чугун;
- С - свинец;
- А - алюминий;
- Э - эпоксидный компаунд;
- Р - резина;
- СЛ - самоклеющаяся лента;
- Б - стальная воронка, заливаемая битумным составом.

После обозначения материала ставятся буквы, определяющие различные характеристики муфт и заделок:

- ТВ - с термоусаживаемыми поливинилхлоридными трубками;
- Н - с трубками из найритовой резины;
- Т - с трехслойными трубками;
- З (в сочетании Р\$) - с заполнением изоляционным составом;
- СЛ - с подмоткой из самоклеющихся лент;
- В - с корпусом, имеющим продольный разъем в вертикальной плоскости;
- С - отливаемая в съемной форме;
- О - овальной формы;
- К - круглой формы.

Если перед обозначением исполнения муфты (заделки) стоит буква П, то это значит, что муфта предназначена для кабелей с пластмассовой изоляцией.

Наиболее распространенными муфтами и заделками для кабелей с бумажной изоляцией на напряжение до 10 кВ являются следующие:

- соединительные муфты - СЧ, СЭ, СЭ<sub>В</sub> (на 1 кВ); СС, СЭ, СЭ<sub>В</sub> (на 6 и 10 кВ);
- концевые заделки и муфты внутренней установки для сухих помещений - КВЭ<sub>ТВ</sub>; КВР (на 1 кВ), КВЭ<sub>ТВ</sub>; КВ<sub>Т</sub> (на 6 и 10 кВ);

- концевые заделки и муфты для влажных помещений - КВЭ<sub>ТВ</sub>; КВЭ<sub>Т</sub> (на 1 кВ); КВЭ<sub>ТВ</sub>; КВ<sub>Т</sub> (на 6 и 10 кВ);
- концевые заделки и муфты для сырых и особо сырых помещений - КВЭ<sub>П</sub> (на 1 кВ); КВЭ<sub>П</sub> (на 6 и 10 кВ);
- концевые заделки и муфты для жарких и сухих помещений - КВЭ<sub>ТВ</sub>; КВ<sub>сл</sub>; КВЭ<sub>Т</sub> (на 1 кВ); КВЭ<sub>ТВ</sub>; КВЭ<sub>Н</sub>; КВЭ<sub>Т</sub>; КВЭ<sub>к</sub> (на 6 и 10 кВ).

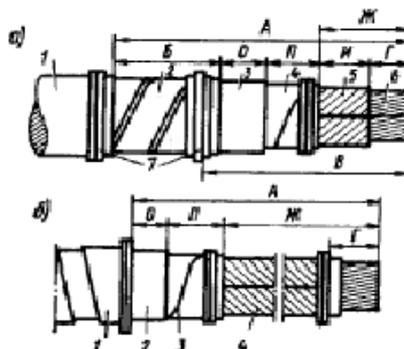


Рис. 1. Виды разделок:

- а - разделка конца трехжильного кабеля с поясной бумажной изоляцией (1 - наружный покров, 2 - броня, 3 - свинцовая или алюминиевая оболочка, 4 - поясная изоляция, 5 - изоляция жил, 6 - жилы кабеля, 7 - проволочные бандажь);
- б - разделка конца трехжильного кабеля с бумажной изоляцией для монтажа концевых заделок (1 - броня, 2 - оболочка, 3 - поясная изоляция, 4 - жилы в заводской изоляции)

### Методические указания

Для производства работ на рабочем столе должны быть следующие материалы и инструменты: ножовка, бронерезка; монтерский нож; плоскогубцы; складной метр; напильник; ключ для снятия гофрированной оболочки; суровые нитки; набор заземляющих проводов; оцинкованная стальная проволока диаметром 1-1,5 мм; стальная проволока диаметром 2 мм.

Операции над элементами кабеля, которые отсутствуют в выданном для разделки кабеле, не производят.

Если снятие битумной подушки производится с использованием растворителей, то в помещении запрещается применение открытого огня.

Разделку в зависимости от ее назначения (для соединительных муфт или для концевых заделок) следует производить в соответствии с рис. 1. Размеры разделки кабелей даны в табл. 1.

В табл. 1 размер Г определяется способом соединения жил ( $Ж=И+Г$ ). Для муфт, расположенных внутри зданий,  $Б = 0$  и  $А = В$ . В числителе стоят цифры для бронированных кабелей, в знаменателе - для кабелей с пластмассовой изоляцией.

Таблица 1

Маркоразмер муфты	Размеры разделки, мм (рис. 1 а)					
	А	Б	О	П	Ж	В
СС-60	330	60	70	25	175	270
СС-70	345	60	70	25	190	285
СС-80	370	60	70	25	215	310
СС-90	380	60	70	25	225	320
СС-100	405	60	70	25	250	345
СС-110	450	60	70	25	294	390
СЭ-3×50-10	395/315	-	120	20	190	-
СЭ-3×95-10	420/340	-	120	20	215	-
СЭ <sub>м</sub> -3×50-1	-	-	80	10	106	56

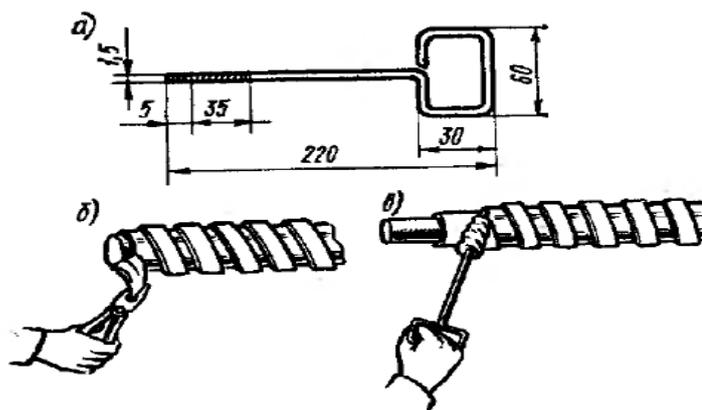
## Порядок выполнения работы

1. Работу следует выполнять в соответствии с технологической картой и рис. 1, а или б.

### Технологическая карта разделки кабеля с бумажной изоляцией

Операция	Способ выполнения
Снятие брони из стальных лент	На расстоянии А от конца кабеля накладывают бандаж из проволоки $d = 2$ мм. Джутовый покров разматывают от конца кабеля до бандажа и не срезают, а оставляют для последующей защиты ступени брони от коррозии.
То же	На расстоянии ВБ от первого бандажа накладывают второй бандаж из такой же проволоки. Бронеленты надрезают по кромке второго бандажа, после чего их разматывают и удаляют.
Удаление подушки	Ленты подушки разматывают и удаляют. Битумный состав тщательно смывают. При этом допускается нагрев подушки беглым огнем.
Надрезание оболочки	На расстоянии О от среза брони выполняют первый кольцевой надрез, а на расстоянии П +5 от первого – второй. Надрезы делают осторожно, на половину толщины оболочки.
Снятие свинцовой оболочки	От второго кольцевого надреза до конца кабеля выполняют два продольных надреза на расстоянии 10 мм друг от друга. Полоску между надрезами удаляют до второго кольцевого надреза и снимают оболочку.
Снятие гладкой алюминиевой оболочки	От второго кольцевого надреза до конца кабеля выполняют надрез по линии, установив резец ножа под углом $45^\circ$ к оси кабеля. С помощью плоскогубцев удаляют оболочку.
Снятие гофрированной алюминиевой оболочки	Надрезают оболочку на расстоянии 10-15 мм у выступа гофра, отгибают надрезанную часть оболочки на шаг и надрывают ее дальше на 25-30 мм; закрепляют полоску оболочки в прорези ключа (рис. 2.) и, поворачивая ключ по часовой стрелке, наматывают на него полоску оболочки до проволочного бандажа
Удаление проволочного бандажа	Разматывают ленты полупроводящей (черной) бумаги и поясной изоляции и обрывают их у края оболочки
Изгибание жил	Жилы немного разводят в стороны и изгибают по шаблону. Без шаблона жилы изгибают постепенным передвижением обеих рук по жиле, не допуская крутых переходов и повреждения бумажной изоляции. Радиус изгиба должен быть не менее 10-кратного диаметра жилы или высоты ее сектора
Снятие бумажной изоляции	Снимают изоляцию жил на участке, длину которого определяют способом оконцевания или соединения; предварительно у места среза на изоляцию накладывают бандаж двумя-тремя витками суровых ниток. Затем производят оконцевание или соединение жил
Удаление оболочки над ступенью поясной изоляции	Надрезают и снимают участок алюминиевой или свинцовой оболочки, оставленный ранее между двумя кольцевыми надрезами. Оставшиеся торцы оболочки обрабатывают, удаляя острые края и заусенцы
Оформление ступени поясной изоляции	На расстоянии П от среза оболочки накладывают бандаж из суровых ниток и обрабатывают ленты поясной изоляции до бандажа
То же, полупроводящей бумаги	Оставшийся на кабеле поясok полупроводящей бумаги длиной 5 мм закрепляют на конце бандажом из двух витков суровых ниток
Разбортовка конца свинцовой оболочки	При отсутствии под свинцовой оболочкой полупроводящей бумаги оболочку отгибают равномерно по всей окружности с помощью разбортовки
Выбор сечения	Сечение провода заземления должно быть для кабелей сечением

медного многопроволочного проводника	жил до 10 мм <sup>2</sup> - 6 мм <sup>2</sup> 16-25 мм <sup>2</sup> - 10 мм <sup>2</sup> 50-120мм <sup>2</sup> - 16 мм <sup>2</sup> 150-240 мм <sup>2</sup> - 25 мм <sup>2</sup>
Выбор длины провода заземления	Длина провода заземления должна обеспечить его последовательное присоединение к оболочкам (экранам), броне и металлическим корпусам муфт
То же, при концевых муфтах и заделках	То же. но свободный конец провода заземления должен служить для присоединения к торной конструкции муфта (заделки) или к сети заземления
Присоединение провода заземления к оболочке (экрану) кабеля	Провод заземления закрепляют на оболочке бандажом из оцинкованной стальной проволоки диаметром 1-1.5 мм и припаивают припоем ПОС-40. Место пайки предварительно очищают и обслуживают свинцовую оболочку припоем ПОС-40, а алюминиевую - припоем А
То же, но к броне кабеля	Присоединяют при ленточкой броне к обеим бронелентам. а при проволочной ко всем проволочкам бандажом из проволоки, а затем пайкой. Предварительно место пайки очищают и облуживают
То же. но к болту заземления муфты или опорной конструкции	Провод заземления оконцовывают наконечником способом сварки, пайки или опрессовки



**Рис. 2. Удаление гофрированной алюминиевой оболочки и размеры ключа**

а - ключ; б - отгибание оболочки плоскогубцами;  
в - наворачивание оболочки на ключ

### Контрольные вопросы

1. Для чего производят ступенчатую разделку кабелей?
2. Расшифруйте марку муфты или заделки, для которой производилась разделка кабеля.

## Лабораторная работа 10

**Тема работы:** Испытание обмоток электрических машин повышенным напряжением промышленной частоты

**Цель работы:** Создать условия для испытания обмоток электрических машин повышенным напряжением промышленной частоты

### Краткие теоретические сведения

В обмотках двигателей переменного тока замыкание между витками является одним из самых серьезных дефектов, обычно приводящих к выходу двигателя из строя.

По наружному осмотру обычно невозможно распознать, имеются ли в катушках короткозамкнутые витки. Если число короткозамкнутых витков невелико, то это нельзя обнаружить измерением сопротивления при постоянном токе, так как такое замыкание мало отражается на значении сопротивления всей фазы. Изменение сопротивления фазы в этом случае может находиться в пределах до пуска на отклонение значения сопротивления между фазами обмотки. Однако при включении двигателя под нагрузку короткозамкнутые витки будут вести себя как замкнутая накоротко вторичная обмотка трансформатора с малым сопротивлением. Вследствие относительно большого значения проходящего тока перегревается сама обмотка и изоляция дефектных и прилегающих к ним витков.

Испытание витков изоляции предусмотрено для собранных двигателей и производится после испытания на повышенную частоту вращения (если это испытание должно производиться). К обмоткам двигателя подводится напряжение, на 30% превышающее номинальное напряжение двигателя» и выдерживается 3 мин: у двигателей с фазным ротором - при разомкнутой обмотке ротора; у двигателей с короткозамкнутым ротором - при холостом ходе.

Если при напряжении 130% от номинального ток холостого хода превышает номинальный, то длительность испытаний снижают до 1 мин.

У двигателей с разомкнутым и неподвижным фазным ротором при подведении к обмотке статора 3фазного напряжения испытывают одновременно междувитковую изоляцию обмоток статора и ротора. Однако у некоторых двигателей с фазным ротором и малым числом полюсов при таком испытании потребляемый ток намного превосходит номинальное значение, что вызывает опасное повышение температуры обмотки статора, бандажей и т. д. У таких машин допускается раздельное испытание междувитковой изоляции обмотки статора и ротора. Сначала производят испытания для обмотки статора при замкнутом накоротко и вращающемся роторе повышением подведенного напряжения к обмотке статора до 130% от номинального, а затем - для обмотки ротора (при разомкнутой обмотке ротора и вращении с номинальной частотой посторонним двигателем против направления вращения поля статора) подведением к обмотке статора напряжения, равного 65% от номинального. При таком испытании наведенное в обмотке ротора напряжение будет составлять 130% номинального.

Для уменьшения тока холостого хода при испытании междувитковой изоляции обмоток допускается одновременно с повышением напряжения на 30% повышать и частоту питающего тока. Если испытание производят на вращающейся электрической машине, то повышение частоты не должно быть более чем на 15%.

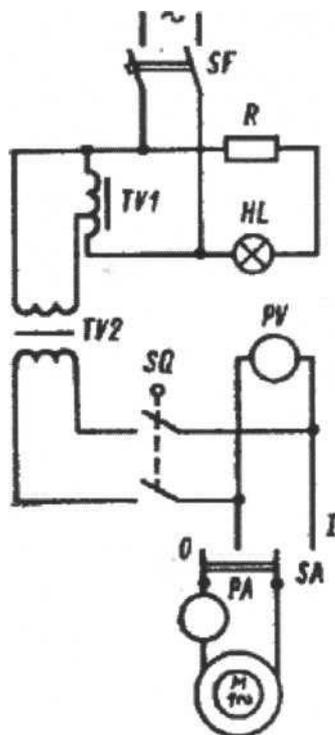


Рис. 1. Электрическая схема опыта

### Методические указания

При проведении лабораторной работы следует использовать Двигатели со вспяными обмотками. У крупных электрических машин с жесткими катушками при эксплуатации могут возникать значительно более высокие перенапряжения. Рекомендуемое испытание для таких двигателей не гарантирует надежность двигателя. Для таких двигателей обмотки до укладки в пазы испытываются импульсным перенапряжением промышленной частоты (10-100 кГц) на основании ПТЭ.

Для испытания двигателей с номинальным напряжением до 110-127 В в качестве источника, повышающего напряжение, достаточно использовать лабораторный автотрансформатор. В случае проведения испытаний двигателей с номинальным напряжением 220 В необходим также повышающий трансформатор с номинальным напряжением первичной обмотки 220 В и коэффициентом трансформации 1,5.

Мощность лабораторного автотрансформатора или регулятора напряжения, а также трансформатора, питающего двигателя, зависит от количества и мощности испытываемых двигателей. О значении тока при испытаниях можно судить по показаниям амперметра в цепи обмотки двигателя.

В целях безопасного обслуживания стенда в схему могут быть введены блок-контакты в цепь вторичной обмотки трансформатора, которые включают цепь повышенного напряжения только в том случае, если двигатели ограждены от оператора специальной стеклянной дверцей.

Схема для проведения испытаний междувитковой изоляции двигателей постоянного тока отличается лишь введением выпрямительного блока во вторичную обмотку повышающего трансформатора.

Испытания проводятся по схеме рис. 1.

### Порядок выполнения работы

1. Снять номинальные данные испытуемого двигателя:  $P_{ном}$ ,  $I_{ном}$ . Если отсутствует  $I_{ном}$ , то рассчитать по формуле:

$$I = \frac{P_{ном}}{U_{ном} \cos \varphi \eta}$$

2. Найти значение испытательного напряжения:

$$U_{\text{исп}} = \frac{130}{100} U_{\text{ном}}$$

3. Собрать схему рис. 1. Убедиться, что рукоятка автотрансформатора TV1 выведена до отказа.
4. Закрывать стеклянную крышку стенда, замкнув конечный выключатель SQ
5. Включить автомат SF. О наличии напряжения свидетельствует загоревшаяся лампа HL.
6. Включить переключатель SA установив его в положение 1.
7. Плавным вращением рукоятки лабораторного автотрансформатора TV 1 установить на вольтметре PV напряжение, равное  $U_{\text{исп}}$
8. Если  $I_{\text{уст}} = I_{\text{ном}}$ , то испытания проводить 3 мин.  
Если  $I_{\text{уст}} > I_{\text{ном}}$ , то испытания проводить 1 мин.
9. Составить отчет по работе и сделать заключение о пригодности междувитковой изоляции.

### Контрольные вопросы

1. Почему не всегда измерением сопротивления изоляции можно определить междувитковые замыкания?
2. Каким образом при проведении испытаний можно убедиться в наличие междувитковых замыканий?
3. Чем отличаются испытания двигателей с короткозамкнутым ротором от испытаний двигателей с фазным ротором?
4. Какую цель преследуют испытания электрической прочности междувитковой изоляции?
5. Какое время испытаний устанавливает ГОСТ в зависимости от тока холостого хода?

## Лабораторная работа 11

**Тема работы:** Изучение способов сушки изоляции обмоток электродвигателей

**Цель работы:** Приобрести практические навыки по процессу сушки электродвигателей.

### Порядок выполнения работы

1. Убедиться в отключенном состоянии вводного автоматического выключателя стенда
2. Проверить отсутствие напряжения на оборудовании стенда индикатором.
3. Убедиться в исправности и целости клемм, зажимов, корпусов электроприборов и аппаратов стенда.
4. Проверить состояние изоляции зажимов проводов, соединительных проводников.
5. Ознакомиться со схемой электрической, принципиальной и схемой соединения стенда.
6. Записать технические данные электродвигателя и измерительных приборов участвующих в работе в таблицу 1.

Таблица 1 Исследуемое электрооборудование

Оборудование	Технические данные
Электродвигатель	
Амперметр	
Вольтметр	
Мегомметр	

7. Произвести анализ необходимости сушки обмоток электродвигателя.
8. Определить способ сушки электродвигателя.
9. Произвести анализ возможности сушки выбранным методом.
10. По выбранному методу собрать электрическую схему или установить тепловой режим сушки.
11. Осуществить контроль теплового режима сушки.
12. Разобрать схему.
13. Определить степень увлажненности обмоток.
14. Сделать вывод о возможном включении двигателя в сеть.
15. Составить отчет о проделанной работе.

### Критерии увлажненности машин переменного тока

Для определения условий, обязательных при включении без сушки, машины разделяют на две группы:

- электродвигатели до 5000 кВт с частотой вращения не более 1500 об/мин,
- генераторы и синхронные машины, а также электродвигатели кроме отнесенных к группе.

Группа делится на две подгруппы:

- машины до 15, 75 кВ,
- машины выше 15, 75 кВ.

Измеряемые величины и допустимые значения приведены в таблице 2. Значение допустимых величин «R 60» электрических машин до 10, 5 кВ измерены при температурах + 10° С.

Для приведения допустимых значений сопротивления изоляции «R 60» определенных по формуле в таблице 2 для температуры 75°С, к температуре измерения применяют температурный коэффициент пересчета К при температурах обмоток.

Таблица 2

С	75	70	60	50	40	30	20	10
К	1.0	1.2	1.8	2.6	3.9	6.5	8.5	12

### Критерии увлажненности изоляции электрических машин постоянного тока

Сушку пропуская ток по обмоткам машин допустимо производить, если сопротивление изоляции обмоток статора машин переменного тока и обмотки якоря машин постоянного тока не менее 50 кОм, а сопротивление изоляции обмоток ротора машин переменного тока и машин постоянного тока не менее 20 кОм.

### **Краткие теоретические данные**

#### Условия включения статоров машин переменного тока без сушки

Таблица 3

Измеряемые величины контроля увлажненности	Допустимые значения величин		Группа
	Группа с номинальным напряжением		
	До 1000 В	Выше 1000 В До 10,5 кВ	
Одноминутное сопротивление изоляции «60»	Не менее 0,5 мОм	При температуре 20°С 3 кВ - 25 мОм 6 кВ - 50 мОм 10кВ-85 мОм	Не менее значений, вычисленных по формуле
Коэффициент абсорбции «60/15» при температуре 10-30°С	-	не менее 1.2	не менее 1.3

### Сушка инфракрасными лучами

В качестве источника инфракрасных лучей применяют зеркальные лампы накаливания мощностью 250 или 500 Вт. Для более эффективного сушения машину закрывают брезентом, который периодически открывают на 5 - 10 минут для удаления влаги.

### Внешний нагрев

Этот метод рекомендуется для сушки всех сильно отсыревших машин, имеющих низкое сопротивление изоляции обмоток. Для нагрева применяют тепловоздуховки, нагревательные элементы. Для машин с замкнутой системой вентиляции нагреватели размещают в вентиляционной камере и температуру горячего воздуха, поступающего в машину регулируют при помощи отключения нагревателей.

### Сушка машин методом индукционных потерь стали статора с использованием вала в качестве намагничивающего витка

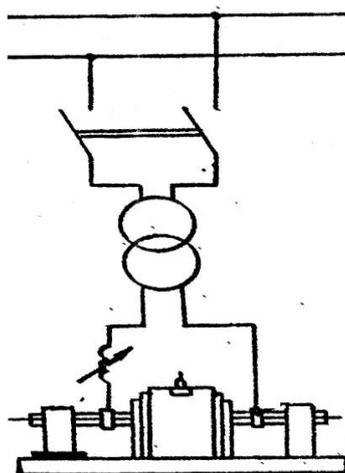


Рисунок 1. Сушка машин методом индукционных потерь

Этот метод применяется для сушки электрических машин, у которых изолирован хотя бы один подшипник или его можно изолировать без разработки машины. Через вал пропускается ток от сварочного аппарата. Вторичный ток можно регулировать реактором сварочного трансформатора с напряжением = 15-50 В, током до 1000 А.

Сушка методом индукционных потерь мощности в активной стали статора с помощью специальной намагничивающей обмотки

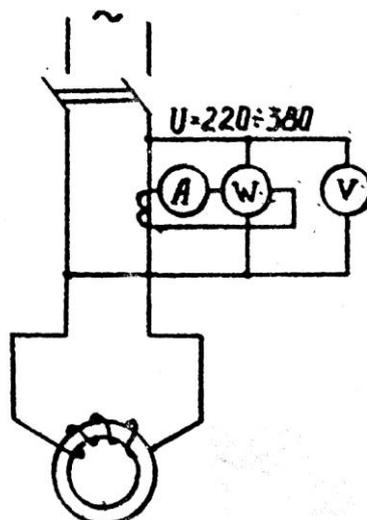


Рисунок 2. Сушка методом индукционных потерь

Этот метод применяется для машин, поступивших на монтаж в разобранном виде. При этом методе нагревание получается за счет создания в стали статора переменного магнитного потока путем наматывания на статор специальной намагничивающей обмотки из изолированного провода. Нагрузка на провода должна быть 0.5-0.7 допустимой. Регулирование температуры производится периодическим включением и отключением намагничивающей обмотки или переключением витков.

Ротор машины подсушивается постоянным током. Число витков намагничивающей обмотки:

$$\omega = \frac{45 \cdot U_c}{S \cdot B}$$

где  $U_c$  - напряжение сети, В;

$S$  - сечение активной стали,  $\text{см}^2$   $S = k \cdot l_{\text{см}} \cdot h_{\text{см}}$ ;

$k = 0.95$ ;

$h_{\text{см}}$  - высота активной стали;

$l_{\text{см}}$  - длина активной стали;

$B$  - заданная индукция, при  $T$  ( $B = 0.6-0.8$ ).

Ток намагничивающей катушки:

$$I = \omega \frac{\pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot F}{\omega} \quad (\text{А})$$

где  $D_{\text{ср}}$  - средний диаметр стали;

$F$  - удельная магнитодвижущая сила (зависит от стали).

Этот метод не пригоден для сушки машин мощностью менее 125-220 кВт.

Сушка методом потерь на вихревые токи в стали статора машины

Этот метод применяется для сушки машин малой и средней мощности. Намагничивающую обмотку из изолированного провода наматывают непосредственно на корпус статора. Число витков намагничивающей обмотки:

- напряжение сети, В

- длина одного витка, м

- коэффициент, определяемый по таб. 14-32 с. 193 и зависит от удельных потерь.

Этот способ пригоден для сушки крупных машин.

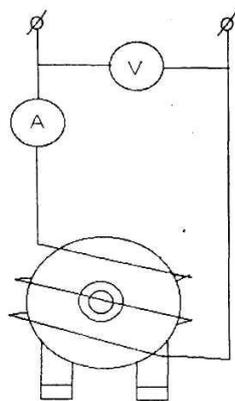


Рисунок 3. Сушка методом потерь на вихревые токи в стали статора машины.

Сушка при помощи постороннего источника тока

Этот метод применяется для сушки обмоток статоров и роторов машин переменного тока.

Ток сушки поддерживается в пределах 0.4-0.7  $I_{ном}$ . Температуру регулируют путем изменения тока сушки, путем изменения подводимого напряжения реостатом. Необходимое напряжение источника постоянного тока находят по формуле:

$$U = I_c \cdot R_c.$$

где  $R_c$ - сопротивление постоянному току;

$I_c$  - ток сушки.

Для сушки применяют сварочный трансформатор

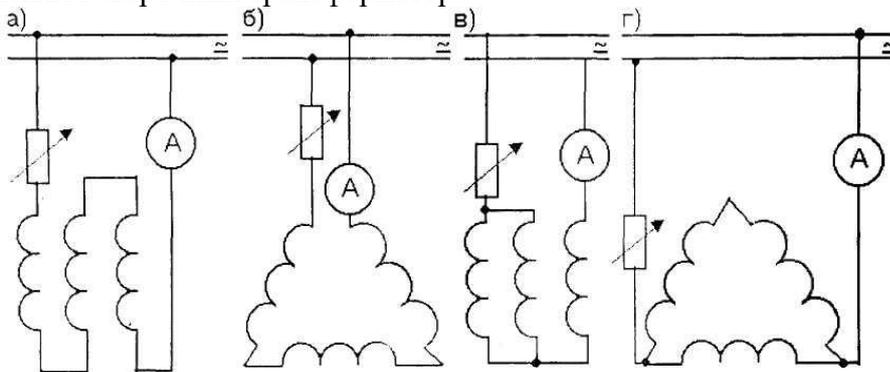


Рисунок 4. Сушка при помощи постоянного источника тока

Сушка при помощи переменного источника питания в режиме короткого замыкания

Этот метод применяется для сушки асинхронных двигателей свыше 1000 В. Статор подключается к сети трехфазного тока пониженного напряжения и прогревают током к.з. в его обмотке. Ротор заторможен и его активная сталь нагревается индукционными потерями.

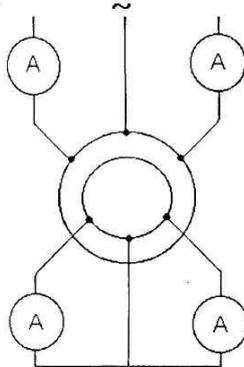


Рисунок 5. Сушка при помощи переменного источника питания в режиме короткого замыкания

У двигателей с фазным ротором, ротор (заторможен) закорочен специальной перемычкой

во избежание подгорания колец.

#### Сушка машин постоянного тока

Ток сушки зависит от частоты вращения машины и от способа вентиляции машины во время сушки.  
Ток сушки не должен превышать 0.8 I<sub>n</sub>.

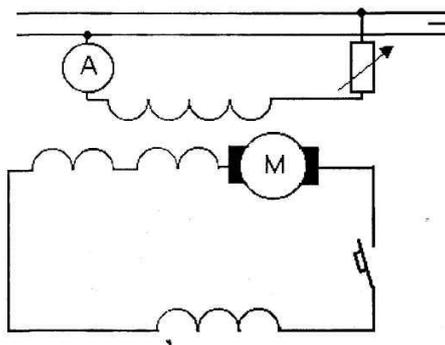


Рисунок 6. Сушка машин постоянного тока

#### Короткое замыкание в генераторном режиме

Этим способом можно сушить как синхронные машины, так и машины постоянного тока при наличии двигателя для вращения машины.

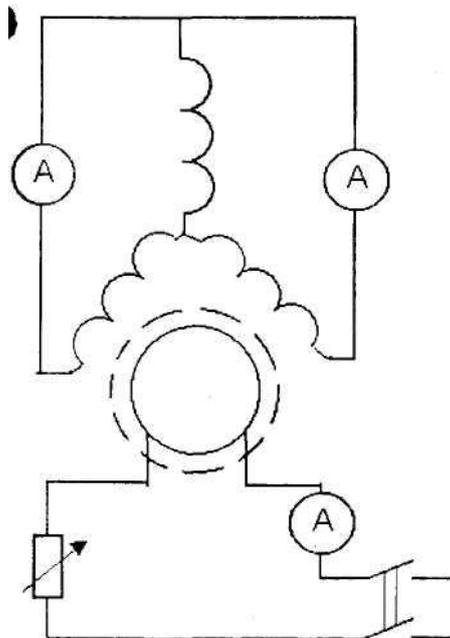


Рисунок 7. Сушка методом короткого замыкания

Все три фазы закорачиваются через амперметры.

Генератор работает при номинальной и пониженной скорости.

#### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите способы сушки изоляции обмоток электродвигателей.
2. Охарактеризуйте способы сушки изоляции обмоток электродвигателей.

## Лабораторная работа 12

**Тема работы:** Изучение способов сушки изоляции обмоток трансформаторов

**Цель работы:** Приобрести практические навыки по процессу сушки изоляции обмоток трансформаторов

### Краткие теоретические сведения

Вопрос о необходимости сушки трансформаторов перед включением решается по комплексу параметров: состоянию масла; сопротивлению изоляции обмоток  $R_{60^\circ}$  коэффициенту абсорбции  $R_{60^\circ}/R_{15^\circ}$ ; тангенсу угла диэлектрических потерь обмоток  $\operatorname{tg} \delta$ ; приращению  $\Delta C/C$ ; состоянию индикаторного силикагеля: соотношению  $C_2/C_{50}$ .

Различают следующие виды сушки: контрольный прогрев, контрольная подсушка и сушка. Все виды сушки преследуют одну цель - привести изоляцию трансформатора в состояние, отвечающее требованиям и нормам.

Бумажно-масляная изоляция в трансформаторах рассчитана на надежную работу лишь при условии ее высоких изоляционных свойств - сопротивления, электрической прочности, емкости и малых диэлектрических потерь. Эти факторы прежде всего зависят от степеней и увлажненности изоляции.

Благодаря своей капиллярной структуре бумажная изоляция весьма гигроскопична. Немного менее гигроскопично трансформаторное масло. Поэтому, находясь на воздухе, активная часть, даже пропитанная маслом, увлажняется. Кроме того, у старых трансформаторов без воздухоосушителей изоляция увлажняется и в процессе длительной эксплуатации. Даже изоляция вновь изготовленных обмоток имеет повышенную влажность.

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

*Контрольный прогрев* трансформаторов производится в одном из следующих случаев:

а) Характеристики изоляции, измеренные при температуре окружающей среды, не соответствуют нормам, и требуется прогрев обмоток до температуры измерения, указанной в паспортных данных предприятий-изготовителей.

б) Продолжительность хранения без доливки масла превышает установленный срок, но не более 7 мес.

в) При наличии признаков увлажнения масла или для трансформаторов, транспортируемых без масла, приращение отношения  $\Delta C/C$  выше нормы.

г) Время пребывания активной части на воздухе при слитом масле при производстве работ превышает допустимое, но не более, чем вдвое.

*Контрольная подсушка* производится при незначительном увлажнении изоляции и в одном из следующих случаев:

а) Характеристики изоляции после контрольного прогрева не соответствуют нормам.

б) Продолжительность хранения без доливки или заливки масла превышает установленный срок, но не более 1 года.

в) Имеется наличие признаков увлажнения масла или нарушение герметичности.

г) Время пребывания активной части на воздухе при слитом масле превышает допустимое, но не более чем вдвое.

*Сушка* производится в одном из следующих случаев:

а) На активной части или в баке трансформатора обнаружены следы воды.

б) Трансформатор хранился без масла или без доливки масла более 1 года.

в) Индикаторный силикагель увлажнен, потерял голубой цвет.

г) Пребывание активной части на воздухе вдвое и более превысило установленное время.

д) Характеристики изоляции трансформатора после контрольной подсушки не соответствуют нормам.

Сушка активной части может производиться следующими способами:

- в вакуум-сушильных шкафах или печах;
- в сушильных шкафах или печах без вакуума;
- в собственном баке вихревыми токами (индукционный способ);
- в собственном баке токами короткого замыкания;
- в собственном баке постоянным током;
- в собственном баке токами нулевой последовательности;
- в собственном баке сухим горячим маслом;
- в камере или в собственном баке сухим, горячим воздухом тепловоздуходувки.

Каждым из этих способов можно добиться высококачественной сушки активной части. Однако затраты на оборудование, непосредственные энергетические затраты на нагревание, отвод излишков теплоты, циркуляцию и другое будут неодинаковы. Поэтому для каждого вида сушки применяют свои методы.

*Контрольный прогрев* производят с маслом без вакуума методами постоянного тока, короткого замыкания, индукционным, а так же методом циркуляции нагретого масла.

Температура верхних слоев масла при контрольном прогреве не должна превышать  $75^{\circ}\text{C}$  и быть не более чем на  $15^{\circ}\text{C}$  выше паспортной при прогреве индукционным методом и методом циркуляции и не более чем на  $5^{\circ}\text{C}$  выше паспортной при прогреве методом постоянного тока или методом короткого замыкания.

Контрольный прогрев заканчивается при температуре верхних слоев масла, превышающей на  $5^{\circ}\text{C}$  температуру, до которой производят прогрев.

Контрольный прогрев методами постоянного тока и короткого замыкания запрещается проводить до получения положительных результатов следующих измерений: данных холостого хода при пониженном напряжении; сопротивления обмоток постоянному току и коэффициента трансформации при выбранном положении переключателей; сопротивления изоляции обмоток, а также в случае обнаружения каких-либо дефектов активной части.

Сушка методом постоянного тока. Для прогрева трансформатора постоянным током необходимо пропускать через его обмотки (обычно используют обмотки ВН и СН) ток, близкий к номинальному.

Для равномерного прогрева желательно обеспечить последовательное или параллельное соединение всех трех фаз обмоток. Иногда применяют схемы с последовательным соединением обмоток только двух фаз или схемы, в которых две фазы соединены параллельно, а третья включена последовательно.

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

$$U_{np} = I_{max} R_{\phi k}$$

- при параллельном соединении всех трехфазных обмоток;

$$U_{np} = 2 I_{max} R_{\phi k}$$

- при двух фазах соединенных параллельно и включенных последовательно с третьей;

$$U_{np} = 3 I_{max} R_{\phi k}$$

- при двух крайних фазах, включенных последовательно;

- при трех фазах, включенных параллельно.

где  $I_{max}$  - максимальный фазный ток прогреваемой обмотки, А;

$R_{\phi}$  - сопротивление фазы обмотки при  $15^{\circ}\text{C}$ , Ом;

$k = 0,8 \div 0,9$  - коэффициент, учитывающий изменения сопротивления при нагреве.

В начале прогрева до достижения температуры верхних слоев масла  $40^{\circ}\text{C}$  допускается прогрев током, равным 1,2 номинального.

В процессе прогрева термосигнализаторами контролируется температура верхних слоев масла.

Температуру прогреваемой обмотки определяют по ее омическому сопротивлению  $R_r$  (которое измеряют в процессе прогрева) с помощью соотношения

$$t_r = \frac{R_r}{R_x} (235 + t_x) - 235,$$

где  $R_x$  и  $t_x$  - сопротивление и температура обмотки, указанные в паспорте трансформатора

Время нагрева составляет не менее 10 часов, считая с момента включения трансформатора.

Сушка методом короткого замыкания. Для сушки токами короткого замыкания одну из обмоток замыкают накоротко, а на другую подают напряжение короткого замыкания, определяемое по паспортным данным трансформатора.

Схемы включения обмоток трехфазных трансформаторов при этом методе прогрева приведены на рис.1.

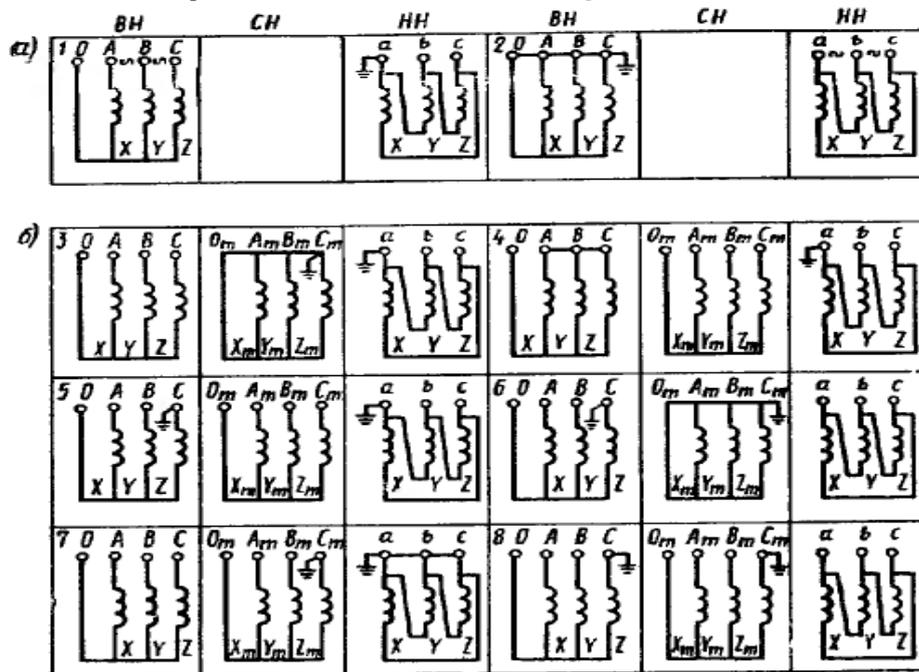


Рис. 1. Схемы включения обмоток трехфазных трансформаторов при сушке методом короткого замыкания  
а - двухобмоточные трансформаторы (1-2); б - трехобмоточные трансформаторы (3-8)

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

при потерях короткого замыкания ( $P_k$ ) менее 500 кВт и температуре обмоток  $75C^\circ$

$$P_{пр} = \frac{1}{3} P_k$$

где  $P_k$  — 500 кВт;

при  $P_k > 500$  кВт мощность  $P_{пр} = 0,49 P_k$

Если мощности обмоток, участвующих в прогреве, равны и неравны и питание подается на обмотку меньшей мощности, то ток прогрева (А) определяют по формуле:

$$I_{пр} = I_{ном} \sqrt{P_{пр} / P_k}$$

где  $I_{ном}$  - номинальный линейный ток питаемой обмотки, А.

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

$$I_{пр} = I_{ном} \sqrt{P_{пр} / P_k} \cdot P_{2ном} / P_{1ном}$$

где  $P_{1ном}$  - номинальная мощность (большая) питаемой обмотки, кВт×А;

$P_{2ном}$  - номинальная мощность (меньшая) обмотки замкнутой накоротко, кВт×А.

При этом должно соблюдаться соотношение:

$$I_{пр} \leq 0,7 I_{ном}$$

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

$$U_{пр} = \frac{U_k \cdot U_{ном}}{100} \frac{I_{пр}}{I_{ном}}$$

где  $U_k$  - напряжение к.з. (%) пары обмоток, участвующих в прогреве;

$U_{ном}$  - номинальное напряжение питаемой обмотки, кВ.

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

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

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

Сушка методом циркуляции нагретого масла. Этот метод допускается использовать для сушки активной части трансформатора без демонтажа на месте его установки и отсоединения от сети только с отключением.

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

При незамкнутой схеме качество сушки выше, но требуется большое количество масла (примерно десятикратное от количества в баке). При замкнутой схеме масло не успевает, как следует просушиться и попадает в бак трансформатора не таким гигроскопичным, как свежее, поэтому сушка продолжается дольше.

Существует также опасность, что масло в замкнутой системе придет в полную негодность, его остатки попадут в каналы обмоток и магнитопровода и будут способствовать быстрому ухудшению вновь залитого свежего масла. Этот способ сушки особо пожароопасен и рекомендуется к применению лишь в исключительных случаях, когда возможность применения других методов сушки отсутствует.

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

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

Подсушку прекращают, когда характеристики изоляции приходят в соответствие с нормами, но не ранее чем через 36 ч после того, как температура верхних слоев масла достигла 80°C для трансформаторов мощностью до 80 000 кВА.

Схема контрольной подсушки приведена на рис. 2.

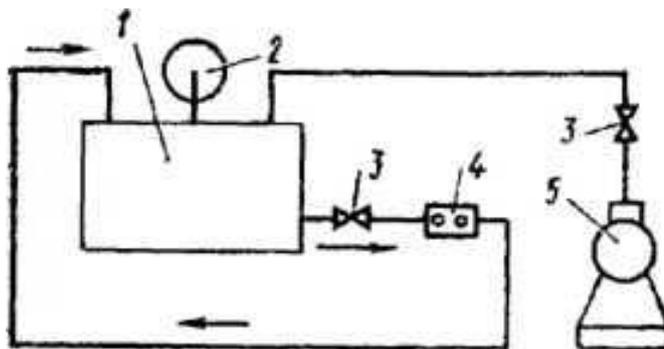


Рисунок 2 Схема контрольной подсушки

(1 - бак трансформатора. 2 - вакуумметр (измеритель остаточного давления);

3 - кран; 4 - насос; 5 - вакуум-насос

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

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

Сушка вакуумным методом осуществляется в вакуум-сушильных шкафах и обеспечивает быструю и высококачественную сушку с небольшими энергетическими затратами. Наиболее экономичным является паровой обогрев, менее экономичен электрообогрев. Вакуум-сушильная печь для сушки трансформаторов I-II габаритов показана на рис. 3. Применяются печи как с верхней, так и с боковой загрузкой с герметично закрывающимися дверями.

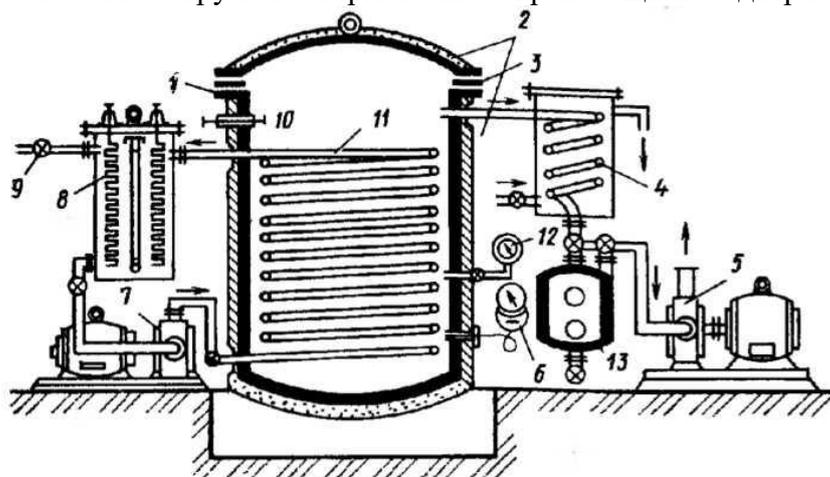


Рисунок 3 Вакуум-сушильная печь для сушки активных частей трансформаторов I-II габаритов

1 - бак со съёмной крышкой; 2- теплоизоляция; 3 - уплотнение; 4 - водяной охладитель (конденсатор); 5- вакуумный насос; 6 - термометр; 7 - циркуляционный насос; 8 - водяной котел с электронагревателями 2X10 кВт; 9 - питательная труба; 10 - проходной изолятор для измерения сопротивления изоляции; 11 - змеевик нагрева; 12 - вакуумметр; 13 - конденсатосборник.

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

В процессе сушки влагу из колонки конденсатора отбирают каждый час, ее количество и значение сопротивления изоляции записывают в журнал сушки. Когда в течение 3 ч подряд (по трем измерениям) выделения влаги из колонки не будет, а показания мегаомметра будут соответствовать нормам, обогрев отключают (закрывают пар), останавливают вакуум-насосы, вакуум постепенно снимают краном для впуска воздуха, печь разгерметизируют.

Очень эффективным с точки зрения дальнейшей эксплуатации является непосредственная заливка активной части маслом в печи. В этом случае мало заполняет поры изоляции, которые прежде были заняты влагой.

Продолжительность вакуумной сушки зависит от степени увлажненности изоляции обмоток, емкости печи, мощности вакуумных насосов и герметичности уплотнений. Она должна продолжаться не менее 14 ч. Характерный график вакуумной сушки представлен на рис. 4.

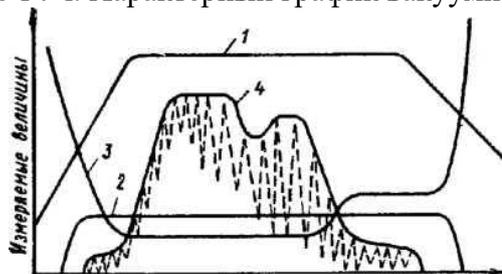


Рисунок 4. Кривые сушки изоляции обмоток трансформатора

Достоинствами вакуумной сушки являются быстрота, высокое качество и стабильная

технология, а недостатками - необходимость постоянно поддерживать в исправном состоянии сложное и дорогостоящее оборудование и в связи с этим высокие эксплуатационные расходы (в сушильном отделении должно быть организовано круглосуточное дежурство); необходимость поддержания очень глубокого вакуума, который трудно поддерживать, так как уплотнения печи изнашиваются быстро, а замена их сложна и дорога.

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

При безвакуумном методе сушки не требуются уплотнения, а используются электрическая и тепловая изоляция выводных проводов от горячих металлических частей печи. Контроль температуры в печи осуществляется термомпарами или другими термодатчиками. Для ускорения процесса сушки ближе к ее окончанию, рекомендуется проводить одну-две 20-минутные продувки печи теплым или окружающим сухим воздухом для удаления скопившихся в ней паров. При калориферном обогреве печей этого не требуется, так как в печи воздух постоянно циркулирует.

Сушка активной части в баке токами нулевой последовательности. Этот метод заключается в том, что к одной из обмоток трехфазного трансформатора подводят пониженное однофазное переменное напряжение и обмотки соединяют так, чтобы возбуждаемые в стержнях магнитные потоки имели одинаковые значения и направления во всех стержнях. Замыкаясь через воздух, металлические детали и бак, они вызывают в них потери от вихревых токов, чем и создается нагрев.

При этом способе сушки, как и при индукционном, теплота идет от металлических частей через бумажную изоляцию к проводам, поэтому способ неэкономичен.

Необходимость подбора напряжения при других схемах соединения обмоток опытным путем, а также необходимость распайки обмоток при соединении одной из обмоток в треугольник или зигзаг - серьезные недостатки метода. Поэтому область применения его крайне ограничена.

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

Бак трансформатора утепляют, обматывают намагничивающей обмоткой. Она может быть однофазной (что вполне достаточно для трансформаторов I-II габаритов) или трехфазной.

К обмотке подключают источник переменного тока от силовой сборки 220 или 380/220 В через двух- или трехполюсной автомат или рубильник.

При прохождении тока по обмотке в стальных стенках бака возбуждается магнитный поток, который, замыкаясь по периметру бака, вызывает в нем вихревые токи, нагревающие бак.

Теплота от бака передается активной части.

Предварительными расчетами по эмпирическим формулам определяют количество витков намагничивающей обмотки, а при сушке в зависимости от фактической температуры изменяют количество витков. Для этого намагничивающая обмотка может быть выполнена с одним-двумя регулировочными ответвлениями (рис. 5).

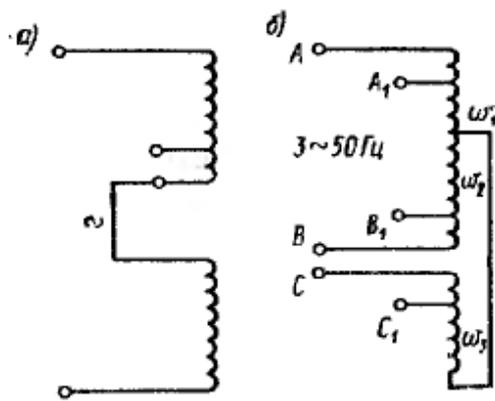


Рис. 5. Схема намагничивающей обмотки:  
а - схема однофазной обмотки; б - схема трехфазной обмотки соединенной в звезду

Сушку активной части можно производить как с маслом, так и без масла, и в зависимости от этого механизм сушки действует по-разному. Масло является теплоносителем и одновременно гигроскопичной средой, отбирающей влагу из изоляции. В масле целесообразно сушить активную часть с промасленными обмотками, т.е. при ремонте без замены обмоток. Новые обмотки сушат без масла.

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

Температуру изоляции на разных высотах обмоток, верхнего и нижнего ярма, стенки бака и воздуха в верхней части бака контролируют термометрами. Температура изоляции поддерживается в пределах 95-105°C, а стенок бака в пределах 110-130°C.

В начале сушки, после того как температура обмоток достигнет 85-100°C, в баке создают вакуум 200 мм рт. ст. (27 кПа) для удаления паров из бака. В дальнейшем вакуум уменьшают и к окончанию сушки доводят до предельно допустимого для данной конструкции. Обычный диапазон рабочего вакуума 40-50 кПа.

В процессе сушки измеряются температуры и сопротивления изоляции. В начале сушки измерения проводят каждые 4 ч, а к окончанию сушки - каждый час. Параметры записывают в журнал сушки.

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

Расчет параметров индукционной обмотки ведут следующим образом. Мощность индукционной обмотки нагрева, кВт

$$P_{об} \Delta p l h$$

где  $\Delta p$  - удельный расход мощности, кВт/м<sup>2</sup>, определяемый по табл. 3.1;  $l$  - периметр бака, м;  $h$  - высота бака,

Число витков намагничивающей обмотки при питании однофазным током частотой 50 Гц

$$\omega = A U \times l.$$

где  $A$  - коэффициент, зависящий от удельного расхода мощности, определяемый по табл.2; ( $U$  - напряжение питания обмотки намагничивания;  $l$  - периметр бака трансформатора, м.

Таблица 2

Удельный расход мощности $\Delta p$ , кВт/м <sup>2</sup>	A	Удельный расход мощности $\Delta p$ , кВт/м <sup>2</sup>	A	Удельный расход мощности $\Delta p$ , кВт/м <sup>2</sup>	A
0,75	2,33	1,35	1,77	2,4	1,44

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

Ток в обмотке, А

$$I = \frac{P_{об} * 10^3}{U_{\cos\varphi}}$$

где  $P_{об}$  — мощность обмотки нагрева бака, кВт;

$U$  - напряжение питания, В;

$\cos$  выбирают равным 0,5—0,6.

Сечение провода намагничивающей обмотки, мм<sup>2</sup>,

$$S = I / i$$

где  $I$  - ток в обмотке, А;

$i$  - допустимая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>;

Для медных неизолированных проводов  $i = 6$  А/мм<sup>2</sup>;

для изолированных проводов  $i = 3 \div 3,5$  А/мм<sup>2</sup>;

для алюминиевых неизолированных проводов  $i = 5$  А/мм<sup>2</sup>;

для изолированных  $i = 2 \div 2,5$  А/мм<sup>2</sup>.

### Методические указания

Герметичность бака проверяют созданием в нем вакуума 350 мм рт. ст. (47 кПа) и поддержанием его в течение 1 ч. Если натекание за 1 ч не превышает 20 мм рт. ст. (2,7 кПа), бак считают герметичным.

Утепление бака производят асбестовым полотном в 2 - 3 слоя в зависимости от толщины полотна. Толщина теплоизоляции стенок должна быть 10-15 мм, а крышки бака 15-20 мм. Намотка витков однофазной обмотки ведется в одну сторону, причем неравномерно: к середине обмотка наматывается реже, а ко дну бака и к крышке шаг намотки уменьшается. В нижней части бака накладывается 50- 60% намагничивающей обмотки.

Внутренняя часть бака должна быть насухо вытерта. Зажим для заземления соединяют перемычкой к заземляющему контуру.

### Порядок выполнения работы

1. Протереть бак насухо.
2. Установить внутри бака на активную часть термоэлектрические термометры или термометры сопротивления. Дополнительно можно установить ртутные термометры со шкалой 150С° в нескольких верхних точках бака по периметру трансформатора.
3. Подсоединить к вводам провода для измерения сопротивления изоляции (сопротивления изоляции до 100 МОм измеряют мегаомметром на 1000 В, более 100 МОм - на 2500 В).
4. Собрать схему вакуумирования.
5. Утеплить бак.
6. Рассчитать сечение и количество витков намагничивающей обмотки и произвести

намотку на утепленный бак.

7. Проверить герметичность бака.
8. Подключить намагничивающую обмотку к сети и вакуум-насосу и следить за равномерным подъемом температуры. После того как температура достигнет 85-100°C, в баке создается вакуум 150-200 мм рт. ст. (20-27 кПа), который затем равномерно повышается на 5 мм рт. ст. в течение каждого часа. Сушку производить при температуре обмоток 95-100°C, а бака 115-120°C. Регулировать температуру обмоток включением или выключением обмотки намагничивания.
9. Если окажется, что количество теплоты недостаточно для сушки, то необходимо уменьшить число витков.
10. Сопротивление изоляции, температуру и величину вакуума измерять каждые полчаса.
11. Сушку считать законченной и отключить нагрев бака, если в течение 6 ч показания мегаомметра будут оставаться неизменными.
12. Составить отчет по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. В чем сущность процесса сушки?
2. Какие виды сушки применяют и в каких случаях?
3. В чем сущность различных методов сушки, их достоинства и недостатки.
4. В каких случаях запрещается производить контрольный прогрев методами постоянного тока и короткого замыкания?

## Лабораторная работа 13

**Тема работы:** Изучение способов центровки валов электрических машин

**Цель работы:** Изучить способы соединения и центровки валов. Научить выверке валов. Научить производить центровку вала электродвигателя с приводным механизмом по полумуфтам.

### Краткие теоретические сведения

Для нормальной работы подшипников и самой электрической машины соединяемые валы электрической машины и приводного механизма должны составлять единый вал. Устройствами, служащими для соединения валов между собой, являются муфты, назначение которых передавать вращающий момент от вала электродвигателя приводному механизму.

Муфты подбирают по характеру соединяемых валов и вращающему моменту. Виды муфт, применяемых для соединений электрических машин, приведены на рис. 1. Для передачи вращающего момента от вала к муфте используются шпонки, которые вставляются в пазы муфт и валов. Из всех видов шпонок наиболее широко применяются призматические, размеры которых выбирают в зависимости от диаметра вала.

Под центровкой валов понимают их установку в такое взаимное положение, при котором валы электродвигателя и приводного механизма являются как бы продолжением один другого. При этом, положение валов относительно друг друга может быть разным в зависимости от типа муфт и их компенсационных способностей в радиальном и осевом направлениях.

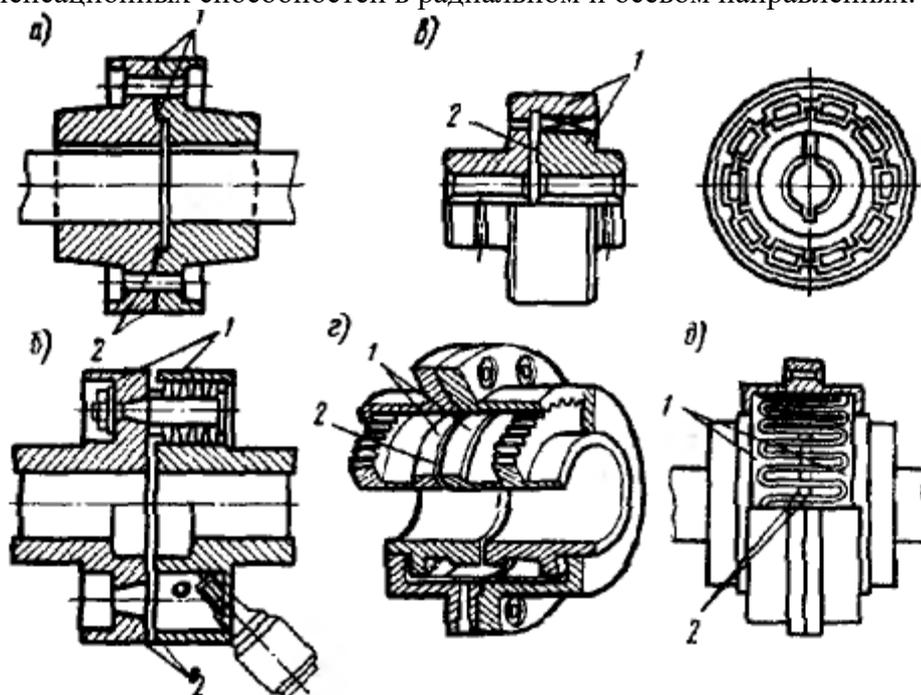


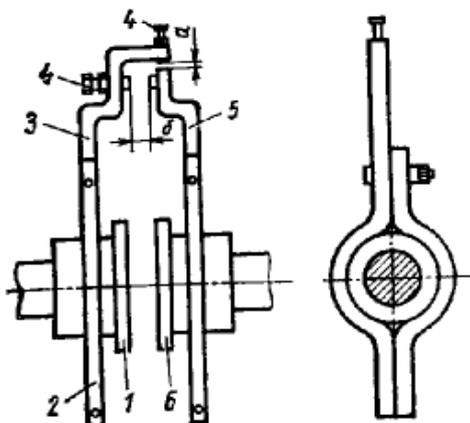
Рис. 1. Виды муфт для соединения валов электрических машин:

а - жесткая фланцевая; б - втулочно-пальцевая; в - упругая с резиновыми пластинами; г - зубчатая; д - переменной жесткости (пружинная); 1, 2 - точки измерения радиального и торцевого биения

Перед выверкой валов после насадки полумуфт на валы проверяют торцевое и радиальное биение полумуфт индикаторами часового типа. Затем производят проверку взаимного расположения валов. Угловой перекос валов замеряется также по полумуфтам.

Сначала производят визуальную проверку с помощью центроискателя (рис. 2), затем точную проверку с помощью центровочных скоб. Визуальная проверка взаимного расположения валов производится по рискам, нанесенным на обод полумуфты через 90° центроискателем. Угольник центродержателя устанавливается на обод полумуфты таким образом, чтобы линейка 3 прилегала к торцевой плоскости полумуфты, разметочная линейка 4 устанавливается на обод

полумуфты. Риски наносят на обод полумуфты и торцевой плоскости по линейкам **3** и **4**. Приспособление поворачивается на  $90^\circ$ , точность установки  $90^\circ$  проверяется с помощью движка с установочной линейкой **3**. Поворачивая таким образом приспособление, наносят четыре риски (рис. 3) через  $90^\circ$  на обод полумуфты. Если диаметры двух полумуфт равны, а муфт сметам друг относительно друга на величину  $v$ , необходимо одни из валов передвинуть по вертикали либо вбок.



**Рис. 2. Установка центровочных скоб на валы:**

**1** - полумуфта установленной машины;  
**2** - стягивающие хомуты; **3** - наружная скоба; **4** - измерительные болты; **5** - внутренняя скоба; **6** - полумуфта установленной машины

Можно процентрировывать машины во время установки по стальной линейке на полумуфтах. Радиальное биение **A** и осевое биение **B** вымеряют через каждые  $90^\circ$  при одновременном повороте обоих валов. Измерения производят в верхней, нижней и двух боковых точках. Если размер **A** в верхней точке отличается от размера **A** в нижней точке, но при повороте валов не меняется, значит полумуфты имеют одинаковый диаметр и разница в размерах образовалась от сдвига центра валов.

Точная проверка центровки валов производится по полумуфтам с помощью центровочных скоб. Проверку зазоров между измерительными болтами и скобами производят в четырех диаметрально-противоположных точках путем совместного проворачивания валов через  $90^\circ$ . Результаты измерений записывают.

Если по какой-либо причине вал приводного механизма невозможно проворачивать одновременно с валом двигателя, то проверку несоосности валов можно производить методом обхода одной точкой, как изображено на рис. 4. Радиальное смещение измеряют с помощью регулировочного штифта **4**, осевое смещение - с помощью щупов, производя замеры при проворачивании вала двигателя через  $90^\circ$ .

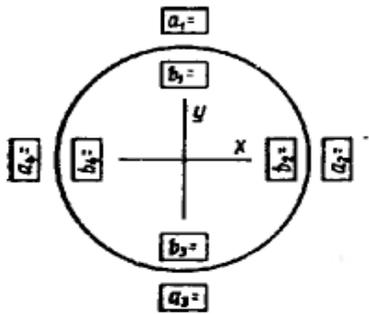


Рис. 3. Запись результатов измерений при центровке

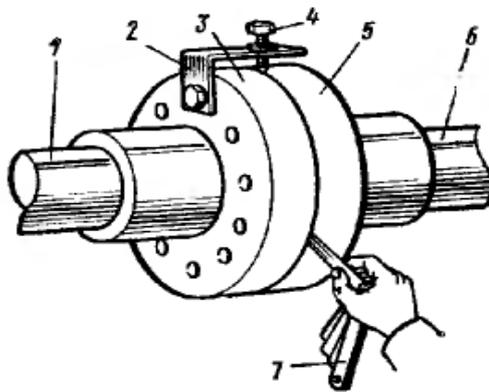


Рис. 4. Центровка валов методом обхода одной точкой:

1 - вал двигателя; 2 - центровочная скоба; 3 - полумуфта двигателя; 4 - штифт; 5 - полумуфта приводного механизма; 6 - вал приводного механизма; 7 - щуп

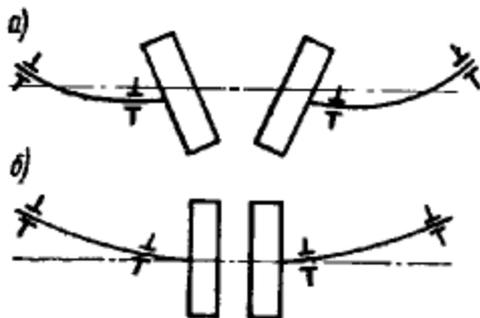


Рис. 5. Проверка соосности валов

## Порядок выполнения работы

### Предварительные операции

Произвести монтаж установки, при этом начать с агрегата, имеющего больший вес. Для проведения центровки необходимо выяснить взаимное расположение валов сопрягаемых механизмов. При горизонтальном положении валов и одинаковой высоте всех четырех подшипников торцевые поверхности муфт не будут параллельны вследствие прогиба каждого вала. Для получения свободного от усилий соединения в муфте необходимо поднять крайние подшипники и добиться непрерывности линии вала в месте соединения.

### Основные операции

1. Произвести центровку валов с помощью металлической линейки, произведя измерения в верхней, нижней и двух диаметрально противоположных боковых точках.
2. Произвести центровку валов с помощью центроискателя. При повороте центроискателя через  $90^\circ$  произвести четыре замера.
3. Произвести точную проверку соосности валов с помощью центрирующих скоб.
4. Сделать заключение о взаимном расположении валов и составить отчет о работе.

### Контрольные вопросы

1. Какие муфты применяются для соединения валов?
2. Для чего производится центровка валов?
3. В чем сущность методов центровки валов?
4. Как проверить биение полумуфт?

## Лабораторная работа 14

**Тема работы:** Изучение способов определения воздушных зазоров в электрических машинах

**Цель работы:** Научить определять воздушные зазоры в электрических машинах

### Краткие теоретические сведения

Для лучшей работы электрических машин воздушные зазоры по всей окружности ротора (якоря) желательно выполнять одинаковой величины, не превышающей определенных значений. Увеличение воздушного зазора вызывает повышение тока холостого хода, уменьшение коэффициента мощности и коэффициента полезного действия.

Например, для асинхронных двигателей увеличение зазора на 1% уменьшает коэффициент мощности на 0,3%, а ток холостого хода увеличивается на 0,6%. При увеличении зазоров на 15-20% двигатель при ремонте необходимо перематывать по новым обмоточным данным (с увеличенным числом витков в пазу), а при увеличении зазоров более 20% экономическая целесообразность ремонта становится сомнительной.

Увеличение воздушных зазоров может быть вызвано различными причинами: проточкой внутренней поверхности статора или наружной поверхности ротора (что совершенно недопустимо при ремонте), шлифующим действием пыли, содержащейся в окружающем воздухе (характерно при длительной эксплуатации электродвигателей на металлургических предприятиях), неправильным хранением электродвигателей на складах, в результате чего корродируют поверхности стали сердечников статора и ротора.

Важное значение имеет неравномерность зазора. Чаще всего причиной неравномерности по окружности является выработка подшипников, реже - эллиптичность ротора или статора. У крупных электродвигателей значительная разница в величине зазоров в вертикальной и горизонтальной плоскостях может быть вызвана деформацией вала при недостаточно жесткой станине.

Неравномерность воздушных зазоров приводит, как правило, к несимметричности магнитной системы электродвигателей, что в свою очередь ведет к появлению токов в подшипниках, уравнильных токов, вибрации, прогибу вала, касанию ротора и статора и т. д.

В собранном электродвигателе замер зазора следует производить с двух сторон (со стороны расположения схемы и с противоположной стороны) с помощью щупа, вводимого через смотровые или специальные люки в торцевых щитах. С каждой стороны замер производят в четырех точках, сдвинутых относительно друг друга по окружности на 90°. Величину зазора определяют как среднеарифметическую величину всех замеров. В крупных электродвигателях переменного тока с большим диаметром вала производят восемь измерений. Некоторые электродвигатели, главным образом малой мощности, не имеют отверстий или люков, в которые можно ввести щуп. В таких двигателях измерение зазоров производят после их разборки. Для этого ротор укладывают непосредственно на расточки статора и замеряют зазор  $\delta_1$  напротив самой верхней точки расточки статора. Затем поворачивают ротор на 90° и вновь замеряют зазор  $\delta_2$  напротив той же точки статора, средний зазор

$$\Delta_{\text{ср}} = (\delta_1 + \delta_2) / 4$$

Регулировку зазора при монтаже и установке электродвигателей производят путем подбора соответствующих металлических прокладок под лапы станин статора и разворота его в поперечном направлении относительно продольной оси. В электродвигателях постоянного тока измерения производят под средней частью каждого полюса также с двух сторон.

По данным ПУЭ воздушные зазоры, измеренные в диаметрально противоположных точках, не должны отличаться друг от друга более чем на 10 % от средней величины зазора.

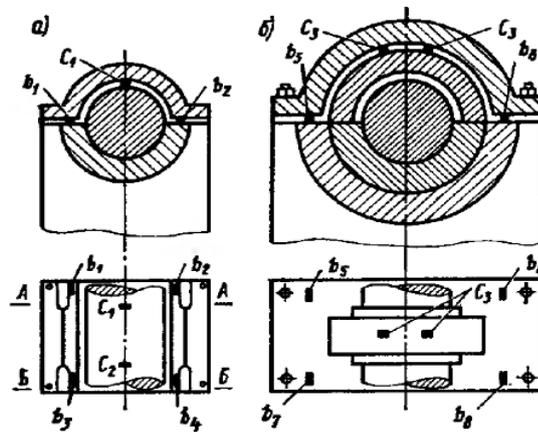


Рис. 1 Зазоры в электрических машинах:  
*a* — зазор между шейкой вала и верхним вкладышем;  
*б* — зазор между верхним вкладышем и крышкой

Одна из необходимых проверок при монтаже и ремонте электродвигателей - проверка зазоров в подшипниках. Для этого устанавливается между шейкой вала и верхним вкладышем подшипника. Величина зазора устанавливается в зависимости от диаметра шейки вала и частоты вращения вала электродвигателя и определяется с учетом подъемной силы масляного клина и образования соответствующей толщины смазочного слоя. Причиной увеличения зазоров в подшипниках могут быть либо их равномерный износ, либо неравномерный износ в результате деформации вала и неравномерной нагрузки на подшипник, либо неправильная посадка подшипника на шейку вала при монтаже. В результате увеличения зазоров возможны неисправности. В разъемных подшипниках скольжения радиальный вертикальный зазор измеряют по отпечаткам отрезков свинцовой проволоки диаметром 0,5-1,0 мм и длиной 2-4 см, закладываемых между шейкой вала и верхней половиной вкладыша, а также в плоскость разъема вкладышей. Радиальный зазор в неразъемных подшипниках скольжения измеряют щупом, вводимым между шейкой вала и вкладышем. При измерении щуп следует вводить на всю длину вкладыша. Максимально допустимые радиальные вертикальные зазоры в подшипниках скольжения.

В подшипниках качения радиальные зазоры измеряют щупом, который вводят между обоймой и телом качения (шариком, роликом). Измерения зазоров можно также производить индикаторами часового типа, установленными на специальном штативе, в котором жестко закреплен подшипник. Осевые зазоры в подшипниках качения не должны превышать 0,2-0,35 мм.

### Методические указания

Необходимо записать тип, мощность двигателя, с которым будет производиться работа, а также измерить и записать диаметр шейки вала от типа подшипника. Измерения производить с двух противоположных сторон.

Ширина щупа должна быть меньше ширины зубцов статора и при измерениях щуп не должен попадать на пазовый клин или бандаж.

Для определения зазоров в между железном пространстве с каждой стороны вала необходимо произвести четыре измерения через 90°.

### Порядок выполнения работы

Взять набор щупов и измерить воздушный зазор с обеих сторон асинхронного двигателя.

Снять у двигателя крышки подшипника. Снять верхнюю половину вкладыша. В места, указанные на рис. 1, *a*, уложить отрезки свинцовой проволоки. Верхнюю половину вкладыша и крышку подшипника установить на свои места и равномерно затянуть стяжными болтами. При подтягивании болтов отрезки свинцовой проволоки сплющиваются соответственно зазорам. Вновь разобрать подшипник и микрометром измерить толщину всех свинцовых отпечатков.

Зазор по линии *АА* определить по формуле:

$$\delta_1 = c_1 - \frac{e_1 + e_2}{2}$$

Зазор по линии *ВВ* определить по формуле:

$$\delta_2 = c_1 - \frac{b_3 + b_4}{2}$$

$$\delta = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$$

Расчетный вертикальный зазор в подшипнике:

Значения  $\delta_1$  и  $\delta_2$  не должны отличаться друг от друга более чем на 10 %. Полученное значение  $\delta$  сравнить с табличными данными и сделать вывод о пригодности двигателя к эксплуатации.

Аналогично произвести измерение и расчет между верхним вкладышем и крышкой подшипника (рис. 1, б); обычно он устанавливается 0,05 мм.

Составить отчет о работе.

### Контрольные вопросы

1. Какими причинами может быть вызвано увеличение зазоров?
2. Какими причинами может быть вызвано появление неравномерности зазоров?
3. Какие нежелательные явления возникают при увеличении зазоров?
4. Какие нежелательные явления влечет за собой появление неравномерности зазоров?
5. Как производится измерение зазоров в электродвигателях, не имеющих отверстий для введения щупов?
6. Из каких соображений выбирают величину зазора между подшипником скольжения и шейкой вала?

## Лабораторная работа 15

**Тема работы:** Сборка схемы и проверка в действии нереверсивного магнитного пускателя с помощью кнопочной станции

**Цель работы:** Создать условия для регулировки и испытания магнитного пускателя.

### Материально - техническое оснащение

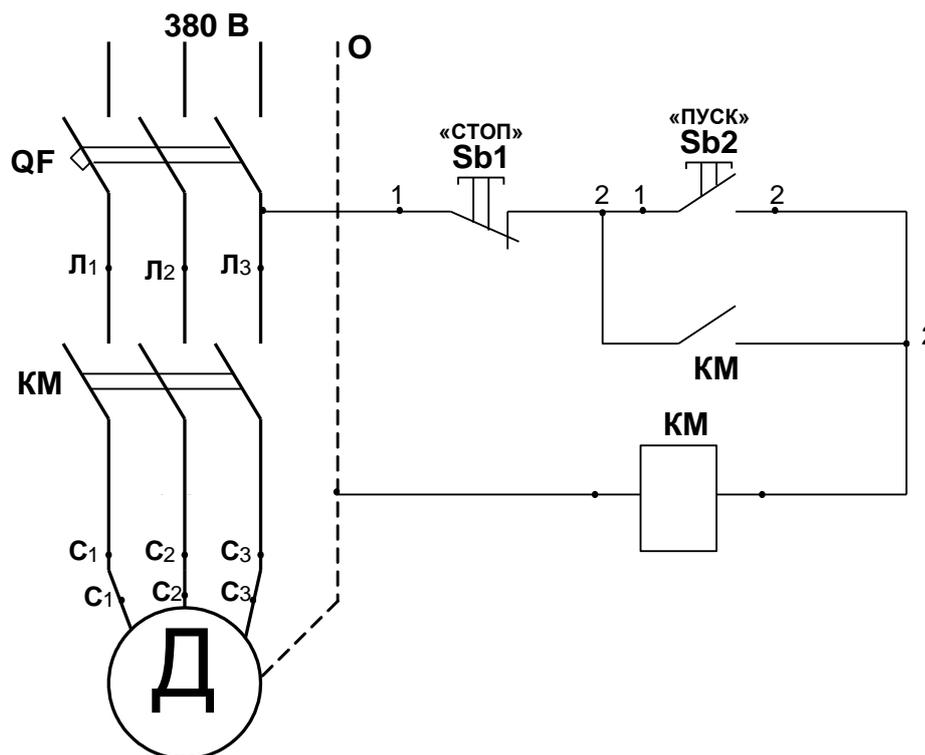
Магнитный пускатель ПМЕ - 1 шт.

Двухкнопочная станция - 1 шт.

Автоматический выключатель АП-50 или трехполюсный рубильник - 1 шт.

Монтажные провода, инструменты и приборы.

Электрическая схема опыта



### Краткие теоретические сведения

Нереверсивный магнитный пускатель предназначен для пуска, остановки и защиты электродвигателя и других электроприемников. Для включения нереверсивного магнитного пускателя применяют двухкнопочную станцию управления с одним замыкающим «Пуск» и одним размыкающим «Стоп» кнопочными контактами. Обмотку контактора магнитного пускателя подключают к источнику питания через двухкнопочную станцию.

Монтажная электрическая схема соединения нереверсивного магнитного пускателя типа ПМЕ-212 с двухкнопочной станцией приведена на рисунке. На монтажной схеме внутренние соединения показаны сплошными линиями. Зажимы для подсоединения внешних проводников показаны светлыми кружками. Блок - контакты 1 - 2 и 3 - 4 устанавливаются только по просьбе заказчика.

Для включения нереверсивного магнитного пускателя необходимо нажать кнопку «Пуск». При этом замкнется цепь катушки контактора К, обеспечивая замыкание главных контактов пускателя. Одновременно замыкается блок - контакт К, шунтирующий кнопку. Теперь кнопку «Пуск» отпустить, так как электрическая цепь для прохождения тока сохраняется через кнопку «Стоп», блок - контакт К, катушку контактора, и контакты РТ и РТ тепловых реле.

Для отключения нереверсивного магнитного пускателя от источника тока, достаточно нажать кнопку «Стоп», которая разрывает цепь питания катушки, в результате чего якорь ее отпадает и пускатель разомкнет свои главные контакты от сети. Главные контакты также

разомкнуться при исчезновении напряжения или понижении его в сети до 60-70% номинального значения.

### **Порядок выполнения работы**

Убедиться в отключенном состоянии вводного автоматического выключателя.

Проверить отсутствие питания на электрооборудовании стенда индикатором напряжения.

Убедиться в исправности и целостности клемм, зажимов, корпусов электрических приборов и аппаратов.

Проверить состояние изоляции, зажимов, проводов, соединяющих проводников.

Ознакомиться с электрической принципиальной схемой и схемой соединений

Изучить рекомендованную литературу в описание практической работы и записать паспортные данные аппаратов.

Ознакомиться с конструкцией нереверсивного магнитного пускателя и рассмотреть: главные контакты трехполюсного контактора, электромагнитную систему контактора.

Найти и проследить главную цепь и цепь управления магнитного пускателя.

Изучить электрические схемы двухкнопочной станции и нереверсивного магнитного пускателя.

Начертить схему включения обмотки катушки, нереверсивного магнитного пускателя ПМЕ-212 и показать ее преподавателю. Затем по этой схеме собрать электрическую цепь и дать проверить преподавателю.

Опробовать работу нереверсивного магнитного пускателя.

Сделать вывод о проделанной работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Для чего предназначен нереверсивный магнитный пускатель?
2. Назовите основные элементы магнитного пускателя.
3. Нарисуйте реверсивную схему запуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

#### 4. Информационное обеспечение обучения

##### Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

###### Основные источники:

1. Шеховцов В. П. Электрическое и электромеханическое оборудование: учебник / В.П. Шеховцов. – 3-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2018. – 407 с.
2. Дробов А. В. Электрическое освещение: Учебное пособие / А. В. Дробов. – Мн.:РИПО, 2017. – 219 с.
3. Сибикин Ю. Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий. В 2 кн. Кн. 1: учебник для учреждений нач. проф. образования / Ю. Д. Сибикин. – 8-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 208 с.
4. Сибикин Ю. Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий. В 2 кн. Кн. 2: учебник для учреждений нач. проф. образования / Ю. Д. Сибикин. – 8-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 256 с.
5. Правила устройства электроустановок. – М.: КНОРУС, 2016.

###### Дополнительные источники:

1. Соколова Е. М. Электрическое и электромеханическое оборудование: Общепромышленные механизмы и бытовая техника: Учеб.пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. – М.: Мастерство, 2001. – 224 с.
2. Акимова Н. А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования: учебник для студ. сред. проф. образования / Н. А. Акимова, Н. Ф. Котеленец, Н. И. Сентюрихин; под общ. ред. Н. Ф. Котеленца. – 10-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 304 с.
3. Нестеренко В. М. Технология электромонтажных работ: учеб.пособие для нач. проф. образования / В. М. Нестеренко, А. М. Мысьянов. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 592 с.
4. Сибикин Ю. Д. Технология электромонтажных работ: Учеб.пособие для проф. учеб. заведений. – М.: Высшая школа; Изд. центр «Академия», 1999. – 301 с.: ил.
5. Сибикин Ю. Д. Справочник электромонтажника: учеб.пособие для нач. проф. образования / Ю. Д. Сибикин. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 336 с.

###### Интернет- ресурсы:

1. <http://fcior.edu.ru/> Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов
2. <https://elibrary.ru/defaultx.asp> научная электронная библиотека.
3. Электрическое и электромеханическое оборудование: учебник / В.П. Шеховцов. – 3-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 407 с. – (Среднее профессиональное образование). - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/899678>