

**ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ**

**Инженерный институт**

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТ  
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**Методические указания  
для лабораторных работ**

**НОВОСИБИРСК 2022**

УДК 621.313.333

Составители: *М.В. Самохвалов*, ст. препод.

Рецензент:

**Технология обслуживания и ремонт электрооборудования:**  
метод. указания для лабораторных работ / Новосиб. гос. аграр. ун-т.  
Инженер. ин-т; сост. М.В. Самохвалов. – Новосибирск, 2022. – 43 с.

В методических указаниях изложен порядок выполнения и оформления лабораторных работ по изучению предохранителей, тепловых реле, магнитных пускателей, исследованию аварийных режимов асинхронных электродвигателей, трансформаторов, а также по сушке и диагностике изоляции.

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (профиль Электрооборудование и электротехнологии).

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института.

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2022

© М.В. Самохвалов 2022

## Содержание

1. Правила безопасности при работе студентов в лабораториях кафедры электрификации и автоматизации сельского хозяйства НГАУ.....	4
2. Лабораторная работа № 1: Предохранители с плавкими вставками .....	6
3. Лабораторная работа № 2: Диагностика изоляции электрооборудования .....	14
4. Лабораторная работа № 3: Исследование аварийных режимов асинхронных электродвигателей в сельском хозяйстве .....	20
5. Лабораторная работа № 4: Диагностика электродвигателя стеклоочистителя .....	27
6. Лабораторная работа № 5: Проверка и регулировка магнитных пускателей типа ПМЕ - 000, ПМЕ - 200, LX1(DDR) .....	32
7. Лабораторная работа № 6: Проверка и регулировка реле РП - 23, РП- 25 .....	36
8. Лабораторная работа № 7: Эксплуатация силовых трансформаторов в сельском хозяйстве .....	41

## ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ

### при работе студентов в лабораториях кафедры электрификации и автоматизации сельского хозяйства НГАУ

1. Перед началом лабораторных работ в лабораториях получите у руководителя работ инструктаж по технике безопасности. Изучите и запомните схему электроснабжения лаборатории, места установки коммутирующей и защитной аппаратуры. После получения инструктажа по технике безопасности распишитесь в журнале о том, что с правилами безопасной работы вы ознакомлены и обязуетесь их выполнять.
2. Не трогайте, не включайте и не выключайте без разрешения преподавателя или лаборанта автоматы и другие приборы. Ошибочное включение может быть причиной несчастного случая или выхода из строя электрооборудования.
3. Перед тем как приступить к выполнению работы, внимательно ознакомьтесь с заданием, оборудованием, материалами и инструментом, проверьте исправность ограждений и предохранительных устройств. О замеченных неисправностях сообщите преподавателю.
4. Перед сборкой схемы убедитесь, что автомат или пакетный выключатель, установленный на щите лабораторного стола, отключён.
5. Помните, что шарфы, косынки и другие подобные им детали одежды могут быть затянуты вращающимися частями машин и послужить причиной несчастного случая.
6. Не загромождайте рабочее место посторонними предметами.
7. Собранная схема проверяется всеми членами бригады, при этом особое внимание следует обратить на надёжность всех клеммных соединений и контактов.
8. По окончании работы приведите в порядок своё рабочее место. После уборки заявите об окончании работы преподавателю и только после его разрешения можете покинуть лабораторию.
9. Не производите излишнего шума в лабораториях.
10. Если с вами или другим студентом произошёл несчастный случай, немедленно сообщите об этом преподавателю или лаборанту для оказания помощи.

### **Воспрещается:**

- Включать настенные групповые автоматы и рубильники распределительных шкафов без разрешения преподавателя.
- Включать собранную схему до проверки и разрешения преподавателя или лаборанта.
- Производить переключение в схемах, находящихся под напряжением.
- Оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.
- Закорачивать или отключать блокировочные устройства.
- Заходить за стенд и протягивать руки за ограждения.

## **Лабораторная работа №1: Предохранители с плавкими вставками**

*Цель работы.* Ознакомиться с конструкцией и техническими данными предохранителей с плавкими вставками.

*Задание.* Снять опытным путем времятоковую характеристику плавкой вставки и сравнить ее с характеристикой, найденной расчетным путем. Заправить предохранитель ПР-2 новой плавкой вставкой.

### **Порядок выполнения работы**

1. Снять ампер-временную характеристику токового реле, построить график на миллиметровой бумаге.

2. Экспериментально проверить время сгорания плавкой вставки, занести результаты в таблицу.

### **Методические указания**

Работа выполняется группой учащихся из трех-четырех человек. Для снятия времятоковой характеристики служит специальный стенд.

В качестве плавкой вставки следует использовать медную проволоку диаметром 0,35 мм, длиной 70 мм, помещенную в фарфоровую группу. Снимают времятоковую характеристику в такой последовательности:

- закрепляют плавкую вставку на стенде;
- устанавливают автотрансформатор на 0 и включают рубильник Р и автомат А;
- поворотом рукоятки автотрансформатора по часовой стрелке устанавливают силу тока в цепи, равную 10 А, и по секундомеру определяют время сгорания плавкой вставки;
- аналогичные операции выполняют с новой плавкой вставкой, но с током другой силы;
- показания записывают так, как показано в таблице 1.

После того как будут заполнены все графы формы, приступают к расчету времени сгорания плавкой вставки и сравнению результатов расчета с данными эксперимента.

Таблица 1

Ток, А	Показатели электросекундомера, с	
	опытные	расчетные
10		
15		

Ток, А	Показатели электросекундомера, с	
	опытные	расчетные
20		
30		
40		

### **Общие сведения**

*Предохранителем с плавкой вставкой* (плавким предохранителем) называют устройство, которое при токе, большем заданной величины, размыкает электрическую цепь путем расплавления плавкой вставки, нагретой током, проходящим по ней до момента расплавления.

Пример зависимости времени сгорания плавкой вставки от кратности проходящего через предохранитель тока: чем больше кратность тока, т.е. чем больше проходящий ток, тем меньше время сгорания плавкой вставки.

Плавкие предохранители осуществляют защиту от токов коротких замыканий и от недопустимо длительных перегрузок.

В сельском хозяйстве наиболее распространены предохранители ПР–2 и ПН–2.

Устройство предохранителя ПР–2: внутрь фибровой трубки (патрон) помещена плавкая вставка, которая изготовлена из тонкого листового цинка. Узкие перешейки (от двух до четырех) предотвращают излишний нагрев вставки при нагрузках, близких к номинальной.

Предохранители ПР–2 выпускаются промышленностью на номинальное напряжение 220 В (короткий патрон), 500 В (длинный патрон), номинальные токи 15, 60, 100, 200, 350 до 1000 А, а плавкие вставки к ним – на номинальные токи 6, 10, 15, 20, 25, 35,45, 60, 80, 100, 125, 160, 200, 225, 260, 300 А.

При заказе предохранителя указывают напряжение, номинальный ток предохранителя и номинальный ток плавкой вставки: например, предохранитель ПР–2 на 220 В, 60 А, ток плавкой вставки 25 А. Заметим, что для напряжения 380 В годятся предохранители как напряжением 500 В, так и напряжением 250 В.

Устройство предохранителя ПН–2: плавкая вставка этого предохранителя изготовлена из нескольких полос медной фольги и помещена в патрон, заполненный кварцевым песком, который способствует ускоренному гашению электрической дуги, возникающей при перегорании

плавкой вставки.

Предохранители ПН–2 выпускаются на номинальные токи 100, 250, 400, 600 и 1000 А, а плавкие вставки – на номинальные токи 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 200, 300 А и более.

Время плавления плавкой вставки, выполненной из медной проволоки, может быть приближенно подсчитано по следующей формуле:

$$t = \frac{S^2}{I} \cdot 10^5, \text{ с,}$$

где  $S$  – поперечное сечение плавкой вставки, мм<sup>2</sup>;  $I$  – ток, проходящий через плавкую вставку, А.

Приведенная выше формула пригодна лишь для приближенных расчетов. На практике самодельные плавкие вставки могут применяться только в том случае, если они откалиброваны на специальном стенде, принципиальная электрическая схема которого приведена на рабочем месте. Помимо калибровки плавких предохранителей стенд позволяет производить сушку электрическим током одного или нескольких электродвигателей и силовых трансформаторов, может быть использован для производства электросварочных работ, для зарядки аккумуляторов, для настройки тепловых реле и целого ряда других работ.

### ***Упражнения***

1. Рассчитайте время сгорания плавкой вставки, выполненной из медной проволоки диаметром 0,5 мм, если по ней протекает ток: 100 А; 200 А; 500 А.

2. Оформите заказ на предохранители ПР–2, рассчитанные на номинальный ток плавкой вставки 125, 160 и 200 А.

### ***Контрольные вопросы***

1. Для каких целей служат плавкие предохранители?
2. Что называют времятоковой характеристикой плавкой вставки?
3. Что называют номинальным током предохранителя?
4. Что называют номинальным током плавкой вставки предохранителя?
5. Для чего в пластинчатых вставках делают суженные места?
6. Для какой цели патрон предохранителя ПН–2 заполняют кварцевым песком?

## Оформление

### Расчет проводов, предохранителей, тепловых реле

В соответствии с величиной рабочего тока по каталогам и справочникам выбирают сечение провода и кабеля. Однако соблюдения только этого условия для силовых проводов недостаточно. В процессе эксплуатации могут иметь место случаи неправильного пользования электроэнергией или короткие замыкания, в результате чего может произойти непредвиденное увеличение тока в проводнике, он нагреется и выйдет из строя. Чтобы этого избежать, предусматривают защиту проводников плавкими предохранителями. Плавкая вставка предохранителя защищает установку только от токов короткого замыкания. В осветительной сети она является единственным защищающим элементом:

$$I_{ВСТ} \approx I_{НАГР}.$$

При защите электродвигателей, кроме плавких вставок предохранителей (они защищают в основном от токов короткого замыкания на клеммах и в обмотках электродвигателей), необходимо обеспечивать и защиту их от перегрузок.

При использовании автоматических выключателей вместо плавких вставок предохранителей могут быть использованы электромагнитные расцепители.

Выбор проводников ведут по нагреву.

Обычно расчет электрической сети начинают с плавкой вставки. При этом руководствуются двумя правилами.

*Правило I.* Ток плавкой вставки должен быть равен или больше рабочего тока нагрузки:

$$I_{ВСТ} \geq I_p.$$

*Правило II.* Ток плавкой вставки должен быть не меньше, чем деленная на 2,5 величина максимального тока для защищаемого участка проводки:

$$I_{ВСТ} \geq \frac{I_{МАКС}}{2,5},$$

где  $I_{макс}$  максимальный ток,

$$I_{МАКС} = K \cdot I_{ДВ},$$

$K$  – кратность пускового тока (дается в каталогах).

Если предохранитель защищает линию, к которой присоединяются несколько двигателей, то максимальный ток

$$I_{\text{МАКС}} = m(I_{\text{ДВ}} + I_{\text{ДВ2}} + \dots + I_{\text{ДВn}}) + I_{\text{ПУСК}},$$

где  $I_{\text{пуск}}$  – ток одного из двигателей, при котором  $I_{\text{макс}}$  имеет наибольшее значение;  $m$  – коэффициент одновременности.

Из данных, полученных по указанным выше правилам, выбирают наибольшее значение тока плавкой вставки. Затем по шкале стандартных величин токов плавкой вставки (таблица 2) находят ближайшую большую. Выбор вставки на меньший ближайший ток может привести к тому, что она перегорит при пуске двигателя.

Таблица 2

Стандартные величины токов плавкой вставки

Тип предохранителя	Номинальный ток, А	
	предохранителя	плавкой вставки
НПН-15; ПР-1-15	15	6; 10; 15
НПН-60; ПР-1-60	60	15; 20; 25; 35; 45; 60
НПР-100; ПР-1-100	100	60; 80; 100
НПР-200; ПР-1-200	200	100; 125; 160; 200

Если нет нагревательных элементов заводского изготовления, их можно изготовить на месте. Для этой цели используют трансформаторную сталь толщиной 0,35 или 0,5 мм. Перед изготовлением элементов трансформаторную сталь необходимо отжечь. Тогда она лучше обрабатывается и становится более устойчивой к коррозии. Заготовку и изгиб пластин делают по форме заводских нагревательных элементов. Ориентировочные значения ширины пластин нагревательных элементов в зависимости от номинальных токов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Номинальный ток нагревательного элемента, А, при толщине стали		Ширина нагревательного элемента, мм
0,5 мм	0,35 мм	
14	6	4
16	9	6
20	13	8
22	16	10
24	19	12
26	22	14
28	25	16

Следует иметь в виду, что выбор сечения провода зависит от того, будет ли он защищен плавкой вставкой только от коротких замыканий или также и от перегрузок. По правилам устройства электроустановок, от перегрузок нужно защищать осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых и служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, а также в пожароопасных помещениях. Сети любого назначения, выполненные незащищенными проводами с горючей оболочкой, должны быть защищены от перегрузок. Это относится и к сетям любого типа во взрывоопасных помещениях.

При защите сетей от перегрузок допустимый ток провода должен быть больше или равен

$$I_{\text{доп}} \geq I'_{\text{доп}} = 1,25 I_{\text{вст}}.$$

Выше указано, что расчет проводов можно также вести по потере напряжения в проводке. Любой проводник имеет сопротивление. При передаче по нему электроэнергии часть напряжения расходуется на преодоление этого сопротивления. Величина, равная разности напряжений в начале и конце линии, называется потерей напряжения:

$$\Delta U = U_1 - U_2.$$

Эту же величину можно получить, зная величину тока нагрузки, длину проводки, ее сечение и удельную проводимость:

$$\Delta U = \frac{2Il}{jS},$$

т. е. потеря напряжения в проводке прямо пропорциональна силе протекающего тока  $I$  и длине проводки  $l$  и обратно пропорциональна сечению  $S$  и удельной проводимости  $j$  материала проводника.

Работа теплового реле основана на изгибании биметаллической пластинки под действием тепла, выделяемого в нагревательном элементе. Но эта же пластинка будет изгибаться и под действием тепла окружающего воздуха. Таким образом, например, в жаркие дни реле будет срабатывать быстрее, чем в холодные. Для устранения этого явления в реле некоторых типов применена температурная компенсация, сущность которой заключается в том, что изгибанию биметаллической пластинки от изменения температуры окружающего воздуха соответствует противоположное по направлению изгибание пластинки компенсатора. Пластинка компенсатора представляет собой тоже биметаллическую пластинку, но с обратным по отношению к основной биме-

таллической пластинке прогибом.

Промышленность выпускает сменные нагревательные элементы к тепловым реле различного типа. Так, например, к наиболее распространенным в сельском хозяйстве тепловым реле типа ТРН и ТРП выпускаются тепловые элементы, рассчитанные на номинальные токи, приведенные в таблице 4.

Таблица 4

Тип реле	Номинальные токи, А
ТРН-8 и ТРН-10	0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0
ТРН-25	5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0;
ТРН-40	12,5; 16,0; 20,0; 32,0; 40,0
ТРП-60	25,0; 30,0; 40,0; 50,0; 60,0
ТРП-150	50,0; 60,0; 80,0; 100,0; 120,0; 150,0

Помимо реле указанного типа для защиты электропривода от перегрузок по току широко применяют тепловые реле типов ТРА, ТРВ, РТ, ТРН и ТРТ.

Реле каждого типа имеют различные исполнения в зависимости от величин номинальных токов. Так, например, реле типа ТРА выпускаются 23 исполнений на номинальные токи от 7 до 215 А. Реле типа ТРВ выпускаются 20 исполнений на номинальные токи от 7 до 200 А и т. д. Цифры, стоящие в марке теплового реле после букв, означают наибольший номинальный ток сменного нагревателя, который может быть установлен в тепловое реле. Например, в тепловом реле ТРН-25 могут быть установлены сменные нагреватели на различные номинальные токи, но не более чем на 25 А.

Ток вставки теплового реле можно изменить, установив другой нагревательный элемент. В некоторых типах тепловых реле, например ТРН, предусмотрен регулятор тока вставки, позволяющий изменять ток вставки в небольших пределах. Так, в тепловых реле ТРН-8А и ТРН-10 ток вставки можно регулировать от 0,8 до 1,25 номинального значения тока теплового элемента, а в других реле (ТРН-25, ТРН-40) – в пределах 0,75–1,3 той же величины.

## Лабораторная работа №2:

### Сушка и диагностика изоляции электрооборудования

*Цель работы.* Ознакомиться с диагностикой и существующими способами сушки изоляции электрооборудования

*Оборудование:*

1. Шкаф сушильный
2. Термометр
3. Мегомметр

#### ***Порядок проведения работы (постановка задач исследования)***

1. Подберите объекты для исследования – трансформаторы, электродвигатели, катушки.

2. Измерьте сопротивление изоляции объекта исследования. Согласно ПУЭ, если сопротивление изоляции в холодном состоянии меньше 1 МОм, такую изоляцию надо сушить в течение часа и затем снова проверить ее с помощью мегомметра. При улучшении параметров изоляции процесс сушки продолжают, а при отрицательном результате электрооборудование бракуется и отправляется в ремонт.

3. При включении сушильного шкафа замерьте через 5-10 мин температуру нагрева воздуха в камере сушильного шкафа. Данные занесите в таблицу и постройте график на ПЭВМ. Отчет оформите первоначально в рабочей тетради с данными измерений, таблицами, графиками, выводами и предложениями по улучшению процесса сушки. Например, стоит ли заменить тепловой блок с простыми ТЭНами на блок с воздушными ТЭНами с оребрениями и подключить его к трехфазной сети.

4. Рассмотрите другие способы сушки изоляции – токовый, конвективный, терморадационный, комбинированный, их преимущества и недостатки. Какой из этих способов можно реализовать в лаборатории эксплуатации?

5. На отдельных листах выполните принципиальные электрические схемы электрооборудования сушильного шкафа с предложением по модернизации установки, схему замещения изоляции и графики по изменению сопротивления изоляции, температурные кривые.

6. На основе отчета предложите описание лабораторной работы с заготовкой таблиц, графиков, схем.

### **Методические указания**

1. Нагреть воздух внутри шкафа до устойчивого значения 60-90°C, фиксируя значения температуры через 5-10 мин. Данные занести в таблицу и построить график зависимости температуры от времени.

2. Измерить сопротивление изоляции образцов электрооборудования с помощью мегомметра.

3. Данные зафиксировать в протоколе испытаний.

4. Поместить образцы испытуемого электрооборудования в сушильный шкаф на 15 с, а затем на 1 минуту. Затем извлечь образцы изделий и снова измерить сопротивление изоляции. Определить коэффициент абсорбции по формуле

$$K_{abc} = R_{60}/R_{15} \geq 1,2$$

и сделать вывод о состоянии изоляции.

5. Выполнить измерения сопротивления изоляции через 10-15 мин и построить график зависимости сопротивления изоляции от времени.

6. Результаты наблюдений, таблицы, графики, выводы оформить в тетради для лабораторных работ.

### **Краткие теоретические сведения**

В практике эксплуатации электрооборудования для повышения качества изоляции применяются различные способы сушки.

Различают следующие способы сушки: конвекционный, токовый, терморadiационный, индукционный, электроосмос, вакуумный, скоростной вакуумный. По конвекционному способу сушка электрооборудования производится в сушильных шкафах и печах при температуре 90 - 200°C.

При индукционном способе сушки для нагрева изделий используют явление магнитной индукции. Изделия помещают в специальный индуктор, питаемый токами промышленной или высокой частоты. Под воздействием переменного магнитного тока в изделии наводятся индукционные токи, которые его нагревают.

*Терморadiационный* способ сушки заключается в нагреве изделий инфракрасными лучами. Генераторами лучей служат специальные электрические лампы, а также трубчатые электронагревательные элементы и металлические панели, нагретые до температуры 300-500°C, излучающие инфракрасные лучи. В первую очередь под воздействием инфракрасных лучей нагреваются металлические части, и за счет этого

начинается интенсивное удаление влаги. При *токовом* способе сушки через обмотку пропускается электрический ток, равный 0,5 – 0,7 от номинального.

Сушка по методу *электроосмоса* заключается в приложении постоянного напряжения между проводниками обмоток и корпусом электрической машины. Положительный полюс источника постоянного напряжения подключается к проводникам обмоток, а отрицательный – к корпусу. Последовательно с источником постоянного напряжения включают источник пульсирующего напряжения.

Сушка по *электровакуумному* методу заключается в создании вакуума внутри автоклава, куда помещается электрооборудование.

*Скоростной электротермовакуумный* метод отличается только тем, что создание вакуума и его большая глубина обеспечиваются за гораздо меньшие значения времени.

Основным недостатком конвекционного, индукционного, терморadiационного, токового методов является длительное протекание процесса сушки, следовательно, и большие энергозатраты.

Недостатками вакуумного и скоростного электротермовакуумного способа являются значительные затраты и необходимость применения специального оборудования.

### ***Контрольные вопросы***

1. С какой целью проводят сушку изоляции?
2. Какие способы сушки изоляции вы знаете?
3. Охарактеризуйте достоинства и недостатки каждого метода.
4. Как измерить сопротивление изоляции?
5. Что характеризует коэффициент абсорбции?

### ***Оформление***

#### ***Отчет***

*по лабораторной работе на тему:*

*«Исследование процесса сушки изоляции электрооборудования»*

1. Данные измерений сопротивления изоляции электрооборудования

В таблице 5 необходимо заполнить параметры сопротивления изоляции для каждого изделия.

Таблица 5

Параметры изоляции	Изделия			
Сопротивление изоляции в холодном состоянии, Ом				
Сопротивление изоляции при температуре 60-75°C, Ом				
Коэффициент абсорбции				

## 2. Зависимость сопротивления изоляции от времени сушки

Необходимо построить график зависимости сопротивления изоляции от времени сушки (рис. 1), и заполнить таблицу 6

Рис. 0

Таблица 6

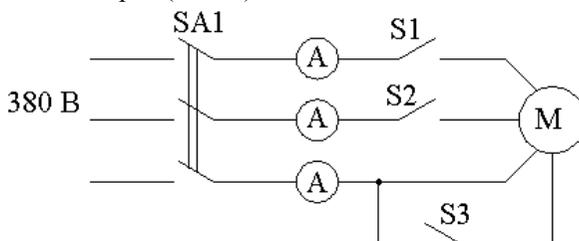
Изделия	Сопротивление изоляции, Ом			
	Время сушки, мин			
	0	0,25	1,0	10–15

3. Таблица и график зависимости температуры нагрева воздуха от времени отображен в таблице 7.



### Лабораторная работа №3: Исследование аварийных режимов асинхронных электродвигателей

Учебно-методический комплекс, включающий стенд (тренажер-имитатор), методические указания к лабораторной работе, контрольные вопросы и задания, позволяет подготовить студентов к диагностике и определению причин, приводящих к выходу из строя асинхронных электродвигателей (с короткозамкнутым ротором). Возможно определение неисправностей на звук, тепло, перегрев в отдельном месте, что в последующем позволит проводить дефектировку вышедших из строя асинхронных электродвигателей с заполнением дефектировочной ведомости, где указываются явные и скрытые дефекты, схемы обмоток и причины выхода из строя (табл.9).



*Рис 1. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки*

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Определить целостность обмоток электродвигателя и собрать схему (рис.1).
2. Проверить электрическую прочность изоляции с помощью мегомметра (минимально допустимая 0,5 МОм).
3. Выполнить с помощью переключателей имитацию аварийных режимов.
4. Данные наблюдений и показания приборов зафиксировать в отчете. Данные измерений занести в табл. 8.

Таблица 8

Результаты измерений при аварийных режимах АД

Режимы	A1	A2	A3	Примечание
Нормальный				
Обрыв фазы				
Межвитковое замыкание				

Таблица 9

## Признаки и возможные причины неисправностей АД

<i>Признак неисправности</i>	<i>Возможная причина</i>
Электродвигатель не развивает номинальной частоты вращения и гудит	Одностороннее притяжение ротора вследствие износа подшипников, перекоса подшипниковых щитов или изгиба вала
Электродвигатель гудит, ротор вращается медленно, ток во всех трех фазах различен и даже на холостом ходу превышает номинальный	Обрыв одного или нескольких стержней обмотки ротора; неправильное соединение начала и конца фазы обмотки статора (фаза «перевернута»)
Ротор не вращается или вращается медленно, двигатель сильно гудит и нагревается	Обрыв фазы обмотки статора
Электродвигатель нагревается при номинальных нагрузках	Витковое замыкание в обмотке статора; ухудшение условий вентиляции вследствие загрязнения вентиляционных каналов
Недопустимо низкое сопротивление изоляции обмотки статора электродвигателя	Увлажнение или сильное загрязнение изоляции обмотки статора; старение или повреждение изоляции
Электродвигатель вибрирует во время работы, и после отключения при частоте вращения ротора, близкой к номинальной	Нарушение соосности валов; неуравновешенность ротора (наличие дисбаланса)
Электродвигатель сильно вибрирует, но вибрация прекращается после отключения его из сети, двигатель сильно гудит, ток в фазах неодинаков, один из участков статора быстро нагревается	Короткое замыкание в обмотке статора электродвигателя

***Краткие теоретические сведения***

Специфика сельскохозяйственного производства предъявляет к асинхронным электродвигателям с короткозамкнутым ротором целый ряд специальных требований, например:

- работа или длительное пребывание в широком диапазоне температур от минус 45 до плюс 40°С;

- длительное пребывание и работа в среде с повышенной влажностью воздуха, содержащей агрессивные газы (аммиак, сероводород, углекислый газ), вредно действующие на изоляционные материалы, покрытия, обмоточные провода;
- электродвигатели могут обливаться дезинфицирующими растворами, находиться в среде аэрозолей и др.;
- работа в условиях повышенной запыленности;
- работа при значительных длительных отклонениях напряжения питающей среды от номинального значения;
- устойчивость к кратковременным глубоким снижениям напряжения сети;
- высокие пусковые и максимальные моменты;
- минимальный уход и простота эксплуатации, возможность обслуживания малоквалифицированным персоналом.

Перечисленные факторы в сельскохозяйственном производстве часто действуют одновременно и в совокупности, в связи с чем отдельные специальные электродвигатели общепромышленного исполнения (влаго-морозостойкие и химостойкие) нельзя считать удовлетворяющими комплексу предъявляемых требований. Учитывая изложенные требования, электропромышленностью разработаны асинхронные электродвигатели сельскохозяйственного назначения (модификация серий АО2 и Д). Электродвигатели предназначены для работы во всех сельскохозяйственных помещениях и на открытом воздухе с питанием от сети переменного тока в следующих условиях:

- температура окружающей среды от  $-45$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ;
- относительная влажность воздуха до  $95\pm 3\%$  при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ ;
- содержание в воздухе горючей, летучей соломистой или хлопьевидной пыли до  $1,16 \text{ г/м}^3$ ;
- длительное содержание химически активных примесей в воздухе: аммиака до  $0,03 \text{ г/м}^3$ , сероводорода - до  $0,03$  и углекислого газа - до  $14,7 \text{ г/м}^3$ . Возможна концентрация аммиака до  $0,09 \text{ г/м}^3$  продолжительностью до 5 ч в сутки в течение четырех месяцев в году.

В настоящее время широкое распространение нашла серия электродвигателей 4А, которая рассчитана на стандартную шкалу напряжений до 660 В и охватывает весь диапазон мощностей от 0,12 до 400 кВт. Электродвигатели серии 4А по сравнению с электродвигателями серии

А2 и АО2 имеют преимущества в части уменьшения массы (в среднем на 18%), меньшие габариты, высоту осей вращения от 56 до 335 мм, большие пусковые моменты, меньший уровень воздушного шума и уровень вибрации, удобство при монтаже и эксплуатации.

Электрические машины повреждаются чаще всего из-за недопустимо длительной работы без текущего ремонта, плохого эксплуатационного обслуживания или нарушения режима работы, на который они рассчитаны. Повреждения электрических машин бывают механические и электрические.

*К механическим повреждениям* относят: выплавку баббита в подшипниках скольжения; разрушение сепаратора, кольца, шарика или ролика в подшипниках качения; деформацию или поломку вала ротора, ослабление прессовки сердечника ротора и т.д.; *к электрическим повреждениям*: пробой изоляции на корпус; обрыв проводников в обмотке; замыкание между витками обмотки; нарушение контактов и разрушение соединений, выполненных пайкой или сваркой; недопустимое снижение сопротивления изоляции вследствие ее старения, разрушения или увлажнения и др. Нами разработаны стенд для имитации аварийных режимов и лабораторная работа, где изучаются такие аварийные режимы асинхронных электродвигателей в сельском хозяйстве, как обрыв фазы, короткое замыкание на корпус и т.д., которые встречаются чаще, и их понимание необходимо для их распознавания.

### ***Контрольные вопросы для самоподготовки***

1. Чем характеризуются электродвигатели для сельского хозяйства?
2. Какие типы неисправностей чаще всего наблюдаются у асинхронных электродвигателей?
3. Какие аварийные режимы возникают при работе асинхронных электродвигателей?
4. Как выглядит диаграмма асинхронного электродвигателя при обрыве фазы?
5. Как определить скрытые дефекты асинхронных электродвигателей?

Данные вопросы служат для самоподготовки и самоконтроля знаний учащихся. Для проведения контроля предлагается тестовое задание.

**Тест «Ремонт асинхронных электродвигателей»**

1. Какой вид дефекта приводит к перегреву электродвигателя на отдельном участке?
2. Какой вид дефекта является причиной, если электродвигатель гудит и перегревается?
3. Что приводит к сгоранию обмотки?
4. Что вызывает скрежет, шум в электродвигателе?
5. Что приводит к выходу из строя подшипников электродвигателя?

*Варианты ответов:*

1. Обрыв фазы
2. Межвитковое замыкание
3. Перегрузка
4. Отсутствие смазки
5. Посторонний предмет
6. Заторможение ротора
7. Короткое замыкание на корпус

Ответы предлагается оформить в следующем виде:

Группа \_\_\_\_\_

Ф.И.О. \_\_\_\_\_

«Номер вопроса» – «номер ответа», который предлагается выбрать из вышеперечисленного списка.

1 –.....	2 – .....	3 – ....	4 – ....	5 – ....
----------	-----------	----------	----------	----------

**Лабораторная работа №4:**  
**Диагностика электродвигателя**  
***Краткие теоретические сведения***

С помощью электродвигателей приводятся в действие отопительные и вентиляционные установки, стекло- и фароочистители, стеклоподъемники и т.п. На автомобили устанавливаются коллекторные электродвигатели постоянного тока мощностью, выбираемой из ряда 6, 10, 16, 25, 40, 60, 90, 120, 150, 180, 250 Вт, и частотой вращения, соответствующей ряду 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000, 9000 и 10000 мин<sup>-1</sup>.

Современные системы электропривода спроектированы так, что не требуют никакого обслуживания за весь срок эксплуатации. Требуется лишь проверять их работоспособность и крепление проводов к выводам элементов электропривода. Электродвигатель, не работавший более трех-четырех месяцев, должен быть включен на 15-20 с для самоочистки коллектора. Отказы электроприводов вызываются электрическими и механическими причинами.

К *механическим причинам* относятся заедание подшипников, заклинивание редукторов, примерзание щеток к стеклу, закупорка каналов стеклоомывателей, задевание рычагов стеклоочистителя за кузов, обрыв гибких валов привода стеклоподъемников; к *электрическим*: нарушение контактов в соединителях, срабатывание защитной аппаратуры, повреждение выключателей и переключателей, выход из строя реле, сгорание обмоток электродвигателей, зависание щеток, подгорание коллектора, нарушение контактов в датчиках. При срабатывании предохранителя следует, прежде всего, выяснить причину срабатывания и лишь потом восстанавливать работоспособность предохранителя. В качестве защитных элементов в автомобильном электроприводе все чаще стали применяться позисторы.

Схема электродвигателя с электромагнитным возбуждением приведена на рис. 2, схема управления двухскоростным стеклоочистителем – на рис.3.

***Порядок выполнения лабораторной работы***

*Проверку элементов электропривода* можно осуществить, пользуясь следующими рекомендациями: неисправность выключателей определяется переключением их выводов; срабатывание предохранителя,

который обычно встраивается внутрь моторедуктора, сопровождается характерным щелчком; отказ электродвигателя определяют, измеряя величину потребляемой им силы тока и частоту вращения при номинальном напряжении. Если сила тока слишком велика, частота вращения мала или ток отсутствует (двигатель не включается), значит, он неисправен.

Электродвигатели и моторедукторы ремонту не подлежат, но замену щеток, зачистку коллектора, смазку подшипников, замену шестерен редуктора можно выполнить достаточно просто, разобрав двигатель или моторедуктор.

Для разборки двигателя с возбуждением от постоянных магнитов в большинстве случаев достаточно отвернуть болты крепления задней крышки к корпусу, а для двигателей с электромагнитным возбуждением – болты, стягивающие переднюю и заднюю крышки.

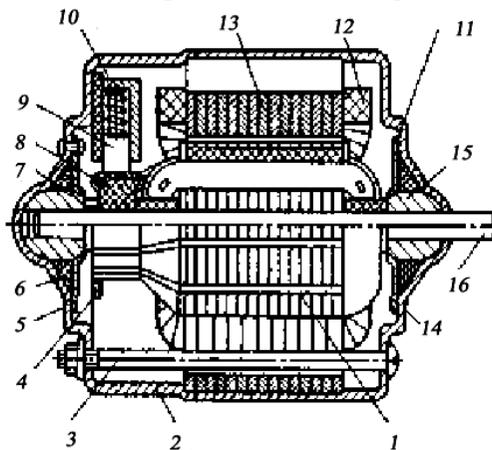


Рис 2. Электродвигатель с электромагнитным возбуждением:  
 1 – якорь; 2 – крышка; 3 – винт; 4 – траверса; 5, 14 – плоские пружины; 6 – сальник; 7, 15 – подшипники; 8 – коллектор; 9 – щетки; 10 – щеткодержатель; 11 – корпус; 12 – статор; 13 – обмотка возбуждения; 16 – выходной вал

Проверку реле 522.3747 можно осуществить, подведя «+» аккумуляторной батареи к выводам J и 15, а «-» к выводу 31. Если при этом контрольная лампа мощностью не более 3 Вт, подсоединяемая между выводами S и 31, станет мигать, то реле в прерывистом режиме исправно. Исправность режима совместной работы стеклоочистки и

стеклоомывателя проверяется подачей питания на выводы 15 и 31 и кратковременно на вывод 86. У исправного реле после обесточивания вывода 86 лампа продолжает светиться 3–7 с.

Проверку реле 451.3747 можно производить, запитав его через выводы 15 и 31 и подсоединив контрольную лампу к выводам 1 и 31. У исправного реле после кратковременного перемыкания выводов 2 и 15 контрольная лампа должна загореться и погаснуть через 5 с. Аналогично можно проверить реле 2902.3747, подведя питание к выводам 4 и 2 и кратковременно к выводу 1. После этого контрольная лампа, включенная между выводами 3 и 2, должна загореться и погаснуть через 4 с.

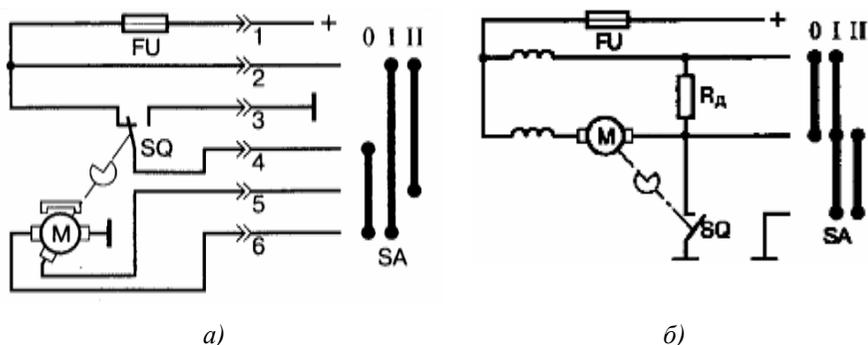


Рис.3. Схема управления двухскоростным стеклоочистителем: а) возбуждение от постоянных магнитов; б) электромагнитное возбуждение

### Контрольные вопросы

1. Из каких основных частей состоит электродвигатель?
2. Что необходимо сделать, если при включении системы электродвигатель не работает, срабатывают предохранители?
3. Перечислите механические и электрические причины отказа электропривода.
4. Перечислите причины неисправности, если при включении системы электродвигатель не работает, предохранители не срабатывают.

## Лабораторная работа №5:

### Проверка и регулировка магнитных пускателей типа ПМЕ-000, ПМЕ-200, LX1(DDR)

*Цель работы:* Практически выполнить наладочные работы магнитных пускателей типа ПМЕ-000, ПМЕ-200, LX1(DDR).

#### *Программа работы*

1. Ознакомиться с конструкциями магнитных пускателей и провести внешний осмотр.
2. Выполнить проверку изоляции токоведущих частей.
3. Измерить сопротивления катушек постоянному току.
4. Провести регулировку механической части.
5. Выполнить проверку и настройку аппарата под током.
6. Составить отчёт и сделать заключение.

#### *Методические рекомендации*

При внешнем осмотре проверяются соответствие аппарата и его катушек проекту, состояние главных и блокировочных контактов и их пружин, гибких соединений, крепёжных болтов и т.п.

*Сопротивление изоляции катушек и контактов* целесообразно измерять совместно со схемой управления в целом (отключение отдельных аппаратов или их элементов следует проводить только для нахождения участков схемы с пониженной изоляцией). Измерения выполняются мегомметром на напряжении 500-1000 В. Сопротивление изоляции катушек магнитных пускателей, согласно ПУЭ, должно быть не ниже 0,5 МОм. Учитывая нормы сопротивления изоляции вторичных цепей, практически следует считать допустимой изоляцию не ниже 1 МОм.

Измерение сопротивления катушек постоянному току достаточно выполнять с точностью до 2–3%. Такие измерения могут быть выполнены омметрами, мостом типа ММВ и др.

Контакторно-релейные аппараты проходят регулировку на заводах-изготовителях и, как правило, полностью соответствуют каталожным данным. При пусконаладочных испытаниях проверка механической части обычно сводится к следующему:

1. Проверка свободной самоустановки и плотности прилегания якоря к ярму.
2. Затяжка винтов, крепящих силовые контакты и выводы к ним.

3. Регулировка растворов и провалов главных контактов и одновременности их замыкания.

4. Проверка нажатия контактов.

5. Затяжка винтов системы блок-контактов.

6. Проверка центровки блок-контактов. Регулировка их зазоров.

7. Проверка крепления катушки.

8. Проверка крепления магнитопровода.

9. Зачистка рабочих поверхностей главных и блокировочных контактов.

10. Проверка крепления демпферных витков.

Плотное прилегание якоря к ярму дает возможность избежать вибрации (гудения) и связанного с ней повышенного износа аппарата. Плотность прилегания якоря проверяют щупом толщиной 0,05 мм. Короткозамкнутые демпферные витки должны быть плотно зажаты в своих пазах.

При регулировке растворов и провалов следует убедиться в одновременном замыкании контактов всех трёх фаз и, главное, в наличии достаточного провала. Уменьшенный провал контакта на одной из фаз может привести к обрыву цепи, перегреву и даже сгоранию обмотки двигателя, включенного на две фазы.

При проверке и настройке аппаратов под током проводится измерение напряжений втягивания и отпадания. Практически напряжение втягивания при испытаниях магнитных пускателей переменного тока не должно превышать 80% номинального (с учетом 5 % запаса на неточность измерений, колебания питающего напряжения и др.). Напряжение отпадания не нормируется, но его следует измерить, так как оно характеризует состояние некоторых элементов аппарата (остаточный немагнитный зазор, конечное нажатие пружин, свободный ход якоря).

Напряжение отпадания измеряют также для оценки надежности удерживания магнитных пускателей при снижении напряжения в питающей сети.

Если гудение значительное, следует снять отпечаток прилегания якоря. Для этого на поверхность касания ярма кладут бумагу и включают магнитный пускатель под напряжение.

В случае выявления перекосов осуществляют дополнительную механическую регулировку, а при необходимости притирку полюсов.

Следует иметь в виду, что в процессе включения аппаратов переменного тока индуктивность катушки значительно увеличивается по мере уменьшения воздушного зазора. Общее сопротивление катушки определяется в основном ее индуктивным сопротивлением, поэтому ток катушки в момент включения, когда индуктивное сопротивление мало, может быть в 10–15 раз больше, чем при подтянутом якоре.

Проверка на напряжение втягивания должна осуществляться очень быстро во избежание перегрева катушек и регулировочных устройств током включения (рис. 4).

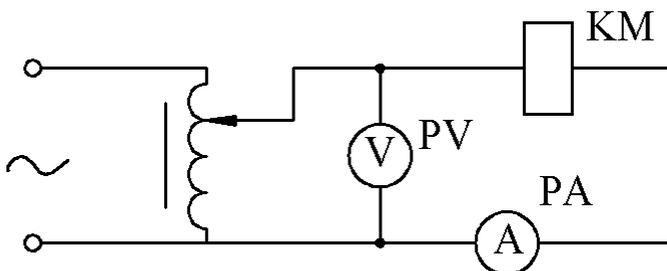


Рис.4. Схема проверки напряжения втягивания и отпадания магнитного пускателя

Во время испытания желательно измерить ток, протекающий через катушку при втянутом якоре и номинальном напряжении. Все испытания повторить 3 раза, в отчете также указать среднее значение.

Повышенное напряжение втягивания якоря может быть вызвано следующими причинами: увеличенным против номинального числом витков катушки, завышенным зазором якоря, чрезмерной затяжкой возвращающей пружины (при её наличии), затиранием контактов в дугогасительных камерах или осях.

### **Контрольные вопросы**

1. Основные неисправности у контакторов и магнитных пускателей. Как их обнаружить и устранить?
2. Как устранить повреждения контактных поверхностей?
3. О чём говорит вибрация и гудение магнитного пускателя?
4. Во сколько раз ток катушки в момент включения больше, чем при подтянутом якоре?
5. Чем может быть вызвано повышенное напряжение втягивания якоря?

## Лабораторная работа №6:

### Проверка и регулировка реле РП-23, РП-25

*Цель работы:* практически выполнить проверку и регулировку реле РП-23 и РП-25.

#### *Программа работы:*

1. Ознакомиться с конструкцией реле.
2. Произвести внешний осмотр и проверку механической части реле.
3. Измерить сопротивление изоляции мегомметром.
4. Измерить сопротивления катушек постоянному току.
5. Выполнить проверку напряжения срабатывания и возврата реле.
6. Составить отчет и сделать заключение.

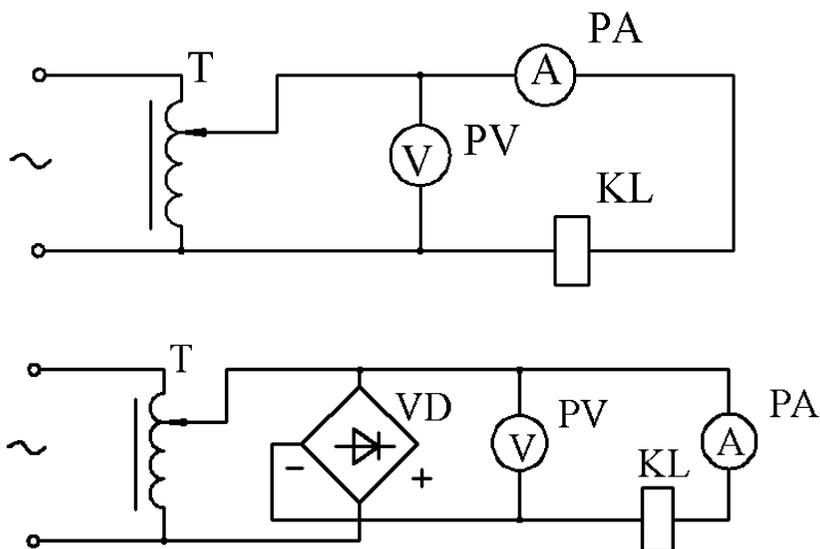


Рис.5. Схемы проверки напряжения срабатывания и возврата реле РП-23 и РП-25

#### *Технические рекомендации*

Промежуточные реле РП-23 применяются в схемах защиты и автоматики на постоянном оперативном токе в случаях, когда требуется размножить контакты каких-либо реле или коммутировать цепи с большим потреблением.

Реле выпускаются с четырьмя замыкающими и одним размыкающим контактами. Перестановкой (поворотом на  $180^\circ$ ) угольников неподвижных контактов можно получить еще несколько комбинаций замыкающих и размыкающих контактов. Реле имеет четыре исполнения, отличающихся по номинальному напряжению.

Регулировка реле и корректировка электрических параметров выполняются следующим образом: вершины подвижных контактов должны совпадать с серединой плоскости неподвижных контактов (рис.5).

Регулировка производится перемещением пластинки и направляющей скобы; при притяннутом якоре подвижная система реле должна иметь свободный ход 0,5–1,5 мм. Регулировка производится подгибанием хвостовика на свободном конце якоря; при опущенном якоре подвижная система должна упираться в верхний упор, а хвостовик иметь свободный ход под упорной колодкой 0,5–2 мм. Регулировка производится отгибанием скобы. При зазоре около 0,4 мм между выступом на якоре и полюсным наконечником все замыкающие контакты должны замыкаться. При зазоре около 0,7 мм между верхним концом шпильки, стягивающей подвижную систему, и верхним упором размыкающие контакты должны быть замкнутыми.

Межконтактный зазор должен быть не менее 2,5 мм. Регулировка производится подгибанием контактных угольников и верхнего упора. Такая регулировка обеспечивает контактное давление в пределах 0,12 – 0,228.

Проверяется напряжение срабатывания и возврата при питании обмотки реле от источника напряжения постоянного тока с плавной регулировкой (опыт проводить три раза, посчитать среднее значение). Измерить сопротивление катушки постоянному току (опыт проводить три раза и посчитать среднее значение).

Промежуточное реле РП-25 применяется в системах защиты автоматики на переменном оперативном токе. Электромагнит переменного тока сообщает подвижной контактной системе значительно большее ускорение, чем электромагнит постоянного тока реле РП-23. При переделке замыкающих контактов на размыкающие и отсутствии ограничения прогиба контактной пружины снизу пружины подвижных контактов при срабатывании реле из-за большого прогиба при ударе о нижний упор работают в очень тяжелых условиях. Поэтому не реко-

мендуется применение реле с числом размыкающих контактов, большим двух. Переделка в этом случае производится поворотом на  $180^\circ$  контактных угольников на зажимах и удалением второго сверху контактного мостика.

Регулировка реле РП-25 выполняется следующим образом:

- при притянutom якоре зазоры между плоскостями полюсов электромагнита и якоря должны отсутствовать. Устранение зазоров производится перемещением сердечника при ослабленных болтах его крепления;

- при отпущенном якоре подвижная контактная система должна упираться в верхний упор; между хвостовиком якоря и плоскостью выступа упорной колодки должен быть зазор 0,5–0,8 мм. Регулировка производится подгибанием специального язычка на хвостовике якоря;

- при притянutom якоре подвижная контактная система должна иметь свободный ход 0,5–1,5 мм. Регулировка производится подгибанием хвостовика якоря;

– при зазоре 0.7 мм между нижней кромкой экранированной части полюса сердечника и якорем все замыкающие контакты должны замыкаться.

В остальном регулировка реле РП-25 аналогична регулировке реле РП-23.

Измерение сопротивления катушек постоянному току производить методом вольтметра-амперметра.

### *Технические данные*

#### **Реле РП-23**

Диапазон рабочих температур в пределах от  $-20^\circ\text{C}$  до  $+40^\circ\text{C}$ . Напряжение срабатывания в холодном состоянии при температуре  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  не более 70%  $U_{\text{ном}}$ . Время срабатывания при номинальном напряжении не превышает 0,06 с.

При изменении температуры от  $-20$  до  $+40^\circ\text{C}$  отклонение напряжения может находиться в пределах от  $-20$  до  $+30\%$ , напряжение возврата в пределах  $\pm 35\%$ , а время срабатывания в пределах  $\pm 20\%$  величины, измеренной при температуре  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Мощность, потребляемая реле, не превышает 6 Вт. Реле длительно выдерживает напряжение 110%  $U_{\text{ном}}$ . Механизм реле выдерживает без

отказов в работе 100000 срабатываний. Катушки реле наматываются проводом ПЭВ-2. Обмоточные данные катушек приведены в табл. 10.

Таблица 10

Номинальное напряжение, В	Число витков	Диаметр провода, мм	Сопротивление, Ом
24	3400	0,23	120
48	7100	0,17	485
110	15200	0,11	2400
220	30000	0,08	9300

### Реле РП-25

При изменении частоты на  $\pm 3$  Гц от номинального значения напряжение срабатывания изменяется не более чем на  $\pm 10\%$ , а напряжение возврата не более чем на  $\pm 15\%$  значения, измеренного при частоте 50 Гц.

При изменении температуры окружающего воздуха в диапазоне  $-20$  до  $+40^\circ\text{C}$  отклонение напряжения срабатывания может находиться в пределах  $\pm 5\%$ , напряжение возврата – в пределах  $\pm 60\%$ , а время срабатывания – в пределах  $\pm 70\%$  значения, измеренного при температуре  $+ 20^\circ\text{C}$ .

Остальные параметры такие же, что и реле РП-23. Обмоточные данные катушек приведены в табл. 11.

Таблица 11

Номинальное напряжение, В	Число витков	Диаметр провода, мм
100	3000	0.21
127	3850	0.18
220	6700	0.14

### *Контрольные вопросы*

1. Чем отличается магнитная система реле РП-23 от реле РП-25?
2. Какое количество срабатываний выдерживает механизм реле?
3. Как влияет температура окружающей среды на параметры реле?
4. Как проводить ревизию реле?
5. Как влияет частота сети на параметры реле РП-25?

## **Лабораторная работа №7:**

### **Эксплуатация силовых трансформаторов в сельском хозяйстве**

*Оборудование:* стенд, натурные экспонаты – узлы и детали силового трансформатора.

#### ***Краткие теоретические сведения***

На электрических станциях и подстанциях применяют трансформаторы повышающие и понижающие, двух- и трехобмоточные, трех- и однофазные. Трехфазные трансформаторы дешевле групп из трех однофазных трансформаторов той же мощности; их эксплуатация проще. Группы из однофазных трансформаторов используют только при невозможности изготовления трехфазных трансформаторов необходимой мощности или при затруднениях с их перевозкой. Во всех остальных случаях применяют трехфазные трансформаторы. Трансформаторные заводы изготавливают трансформаторы на все напряжения до 750 кВ включительно и номинальные мощности до нескольких сотен тысяч киловольт-ампер. Трансформаторы мощностью до 6300 кВА выполняют с естественным масляным охлаждением, более крупные (мощностью 10000 кВА и выше) — с естественным масляным и форсированным воздушным охлаждением с обдуванием бака вентиляторами.

Для ограничения токов короткого замыкания (к. з.) применяют силовые трансформаторы с расщепленной обмоткой вторичного напряжения. Новые серии трехфазных двухобмоточных понижающих трансформаторов на 110 и 220 кВ изготавливают в одном исполнении — с расщепленной на две ветви обмоткой 6 или 10 кВ.

Для значений напряжения к. з. 8–12% раздельное расположение ветвей обмотки низшего напряжения (НН) на сердечнике обуславливает в нормальном режиме достаточно малую разность напряжений на зажимах и в то же время приемлемые условия по напряжению для потребителей, питающихся от одной ветви обмотки НН при к. з. на другой.

Масло в трансформаторах служит в качестве изоляции, а также для охлаждения. Чтобы обеспечить постоянное заполнение бака маслом и уменьшить поверхность соприкосновения его с воздухом в целях предохранения от окисления и увлажнения, применяют расширитель. Для защиты бака от чрезмерного повышения давления при повреждениях внутри трансформатора имеется предохранительная труба.

Трансформаторы характеризуются номинальными напряжениями их обмоток. При работе трансформатора под нагрузкой и подведении к зажимам его первичной обмотки номинального напряжения напряжение на зажимах вторичной обмотки меньше номинального на величину потери напряжения в трансформаторе. По номинальным напряжениям обмоток определяют коэффициент трансформации  $K$ , представляющий собой отношение номинальных напряжений обмоток высшего и низшего напряжений в двухобмоточном трансформаторе. Например, для трехфазного двухобмоточного трансформатора с номинальными напряжениями обмоток 35 и 6,6 кВ коэффициент трансформации

$$K = 35/6,6 = 5,3.$$

Магнитопровод набирается из листов специальной электротехнической стали толщиной 0,35 мм. Листы стали для уменьшения потерь на вихревые токи перед сборкой изолируют лаком, или теплостойкими покрытиями на основе жидкого стекла, либо путем специальной химической обработки поверхности стали добиваются получения на ней жаростойкого изоляционного слоя (при использовании холоднокатаной стали). Части магнитопровода собирают в жесткую единую конструкцию с помощью стяжных болтов и прессующих консолей. По конструкции магнитопроводы бывают стержневые и броневые.

1 –	11 –
2 –	12 –
3 –	13 –
4 –	15 –
5 –	16 –
6 –	17 –
7 –	18 –
8 –	19 –
9 –	20 –
10 –	

Обмотки трансформаторов выполняют из электролитической меди прямоугольного или круглого сечения, а также из алюминия. Обмотки бывают цилиндрические и дисковые и отделяются от сердечника, друг от друга и от стенок бака при помощи цилиндров из изолирующего материала.

Запишите основные узлы силового трансформатора в соответствии с рис. 6:

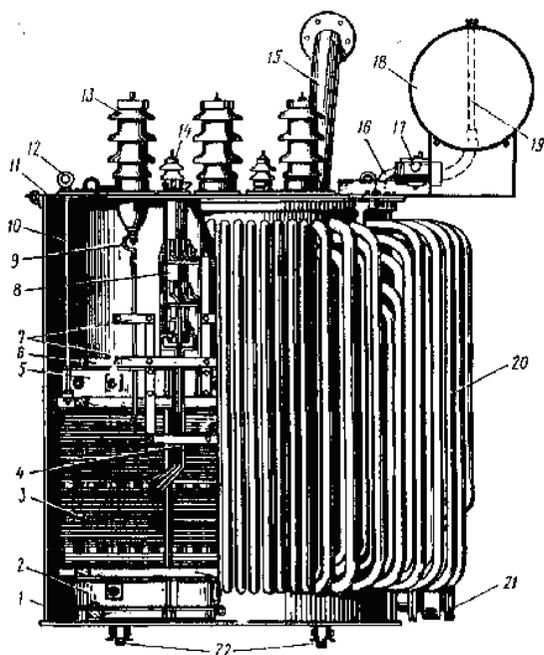


Рис.6. Силовой трехфазный двухобмоточный трансформатор ТМ с масляным охлаждением

Баки для масляных трансформаторов выполняют из листовой стали с помощью сварки. Между съемной крышкой и баком помещают прокладку из маслоупорной резины, пробки и др.; крышку крепят к баку болтами. В крышке бака устанавливают выводные изоляторы, термометр и переключатель ответвлений, а на крышке – расширитель и выпускную трубу. У более тяжелых трансформаторов разъем предусматривается внизу у основания, бак носит название «колокола» и при осмотре выемной части поднимается вверх.

### **Принцип действия, схема замещения**

Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции. Когда по первичной обмотке протекает переменный ток, в сердечнике возникает переменный магнитный поток  $\Phi$ , который пересекает витки обеих обмоток, индуцируя в первичной обмотке э. д. с. самоиндукции  $E_1$ , а во вторичной э. д. с. взаимной индукции  $E_2$ . При определенной частоте и неизменном магнитном потоке значение э. д. с. в каждой обмотке зависит от числа ее витков. Отношение э.

д. с. первичной обмотки к э. д. с. вторичной равно отношению числа их витков и называется коэффициентом трансформации:

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2},$$

где  $W_1$  и  $W_2$  — соответственно число витков первичной и вторичной обмотки.

Схема замещения трансформатора представлена на рис. 7.

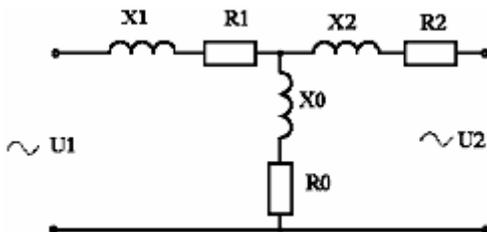


Рис. 7. Схема замещения трансформатора

### Порядок выполнения работы

1. Собрать схему:

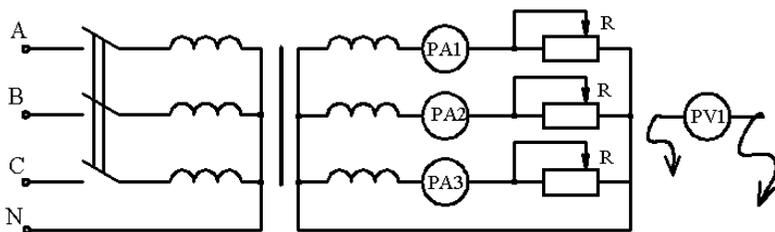


Рис. 8.

2. Начертить и заполнить в тетради для выполнения лабораторных работ таблицу (табл. 12), в которой:

Положение 1. Соответствует режиму холостого хода (цепь разомкнута).

Положение 2.  $R_1, R_2, R_3$  перевести в положение 1/3 от полного сопротивления реостата.

Положение 3.  $R_1, R_2, R_3$  перевести в положение 2/3 от полного сопротивления реостата.

Положение 4. Соответствует режиму короткого замыкания, где  $R1, R2, R3=0$  (движок реостата в крайнем положении).

Положение 1-1, 1-2, 1-3. Несимметричная нагрузка. Для этого, работая в номинальном режиме, увеличивать нагрузку одной из фаз до  $P_{MAX} (R=0)$ .

Таблица 12

Положение	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	U <sub>A</sub> , В	U <sub>B</sub> , В	U <sub>C</sub> , В	I <sub>A</sub> , А	I <sub>B</sub> , А	I <sub>C</sub> , А
1									
2									
3									
4									
1-1									
1-2									
1-3									

3. Рассчитать сопротивления нагрузки по формуле:  $R = \frac{U}{I}$

4. Построить график зависимости  $U=f(I)$



5. Обрыв нулевого провода.

Собрать схему:

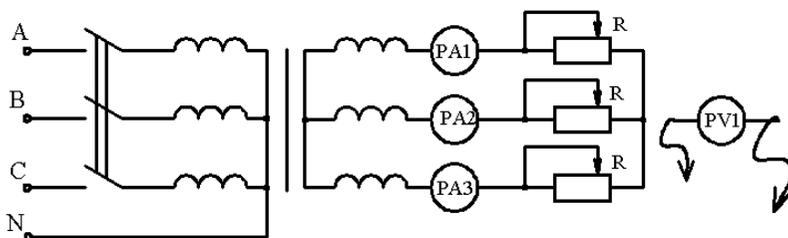


Рис.9

Начертить и заполнить в тетради для выполнения лабораторных работ следующую таблицу (табл. 13).

Таблица 13

Положение	$U_{R1}, B$	$U_{R2}, B$	$U_{R3}, B$	$I_A, A$	$I_B, A$	$I_C, A$
$R1=R2=R3=0.5 R$						
$R1=R2=R3=R$						
$R1=0, R2=R3=0.5 R$						

Выводы:

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

### **Эксплуатация силовых трансформаторов в сельском хозяйстве**

В соответствии с правилами технической эксплуатации степень неравномерности нагрузки по фазам  $K$  отходящих от подстанций линий не должна превышать 20%:

$$K_n = \frac{100(I_{\max} - I_{cp})}{I_{cp}} \leq 20\%$$

где  $I_{\max}$  – ток в максимально нагруженной фазе в момент наибольшей нагрузки трансформатора;  $I_{cp}$  – среднее арифметическое значение тока трех фаз в тот же момент времени.

*Продолжите высказывания:*

Исследования показывают, что среднее значение асимметрии токов находится в пределах от 32 до 50%. Асимметрия токов приводит

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Другая особенность эксплуатации трансформаторов сельских подстанций

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Если максимум типового (среднего) графика нагрузки летом меньше номинальной мощности трансформатора, то в зимние месяцы допускается

.....  
.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....  
.....

Для контроля за нагрузкой трансформаторов мощностью 1000 кВА и выше на них устанавливают:

.....  
.....  
.....  
.....

Статистика показывает, что большая часть трансформаторов выходит из строя

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Степень влияния годового изменения температуры воздуха на нагрузочную способность трансформаторов рекомендуют оценивать

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Доказано, что только от влияния солнечной радиации температура верхних слоев масла в трансформаторе возрастает

.....  
.....  
.....

Исследования показали, что при скоростях ветра от 2 м/с и выше коэффициент допустимой нагрузки может быть изменен на

.....  
.....  
.....

Заслуживает внимания нагрев трансформаторов при неравномерной нагрузке фаз в разных группах соединения обмоток. Исследования показали, что

.....  
.....  
.....

В общем случае разница в температурах нагрева трансформатора при несимметричной и равномерной нагрузках по фазам зависит от

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

***Технический осмотр, ремонт***

Осмотр трансформаторов без отключения нужно проводить в следующие сроки: в установках с постоянным дежурством персонала .....; в установках без постоянного дежурства персонала – не реже ....., а на трансформаторных пунктах – не реже .....

.....

***Контрольные вопросы***

1. Что подразумевается под термином «силовой трансформатор»?
2. Что входит в эксплуатацию трансформатора?
3. Какие особенности эксплуатации трансформаторов в сельском хозяйстве вы знаете?
4. Как включают трансформатор?
5. Как определить влажность масла?

**Ответы**

1. Силовой трансформатор

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

2. В эксплуатацию трансформатора входит

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

### 3. Особенности эксплуатации трансформаторов в сельском хозяйстве

---

---

---

---

---

---

---

---

### 4. Включают трансформатор

---

---

---

---

---

---

---

---

### 5. Влажность масла определяют

---

---

---

---

---

---

---

---

### **Библиографический список**

1. Ерошенко, Г. П. Основы технической эксплуатации электрического и электромеханического оборудования : учебник / Г.П. Ерошенко, Н.П. Кондратьева, С.М. Бакиров. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 295 с. — (Высшее образование: Бакалавриат).
2. Грунтович, Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учебное пособие / Н.В. Грунтович. — Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2021. — 271 с.
3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 262 с.
4. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. — 3-е изд. — Москва: ИНФРА-М, 2022. — 144 с.
5. Правила устройства электроустановок (с седьмое издание). Все действующие разделы ПУЭ-7 2022 год. — Москва: Моргкнига, 2022. — 584.

Составитель: *Самохвалов Максим Владимирович*

## **ТЕХНОЛОГИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**Методические указания  
для лабораторных работ**

Редактор *М.Г. Девищенко*  
Компьютерная верстка *В.Н. Зенина*

Подано в печать «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Объем 2,6 уч.-изд. л., \_\_ усл. печ. л.  
Тираж 10 экз. Изд №\_\_ Заказ \_\_

---

Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»  
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, кааб. 106.  
Тел./факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru