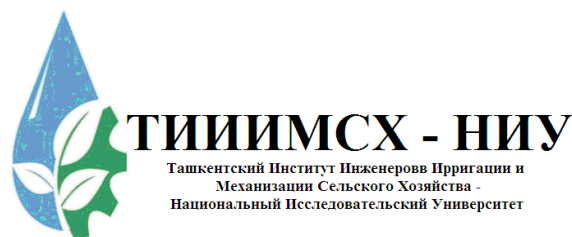


**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И  
ИННОВАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И  
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»**

**Факультет «энергетика»**

**Кафедра «Электротехнология и эксплуатация электрооборудования»**



**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**  
**к лабораторным работам по учебной дисциплине**  
**«ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И**  
**ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС»**

**«ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ»**

**ТАШКЕНТ – 2023**

***Методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию  
Научно-методическим Советом НИУ «ТИИИМСХ».  
(Протокол № 11 от « 25 » ноября 2022 года).***

Методическое пособие является руководством к лабораторным работам по учебной дисциплине «Эксплуатация электрооборудования и технический сервис» посвящена изучению мероприятий по повышению эксплуатационных показателей электродвигателей, трансформаторов и пускозащитной аппаратуры в производственных условиях сельского и водного хозяйства Агропромышленного комплекса. Определяются паспортные данные электродвигателей, состояние изоляции и неисправности в целом электрооборудования. Проводятся испытания и наладочные работы защитной аппаратуры электродвигателей.

Методическое пособие разработано для бакалавров, обучающихся по нижеследующим направлениям образования 5430500-«Энергообеспечение сельского и водного хозяйства», 5310200-«Электроэнергетика» (водного хозяйства), 5630200-«Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», 5111000-«Педагогическое образование» (5430200-«Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»), 5450100-«Использование водной энергии ирригационных систем», 5450300-«Механизация водохозяйственных и мелиоративных работ», а также может быть полезно для магистров по специальностям обучения 5А430501-«Энергообеспечение сельского и водного хозяйства», 5А310201-«Электроснабжение водного хозяйства», 5А311001-«Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

**Разработал:** **Р.Ф. Юнусов**, доцент.

**Рецензенты:** **У.Т. Бердыев** - зав. кафедрой «Электроэнергетика» Ташкентского государственного транспортного университета, к.т.н., профессор;

**Р.Т. Газиева** – зав. кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» НИУ «ТИИИМСХ», к.т.н., профессор.

**© НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И  
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА» (НИУ «ТИИИМСХ»), 2023 г.**

## ВВЕДЕНИЕ

В сфере сельского хозяйства имеются ещё незадействованные возможности, ожидающие своего решения проблемы и недостатки. Актуальным остаётся вопрос улучшения состояния сельхозтехники [1]. В то же время, в сфере ощущается нехватка кадров, глубоко освоивших современные научные достижения [1].

В решениях правительственных документов поставлена задача, уменьшить себестоимость продукции агропромышленного комплекса при различных видах хозяйствования. Для этого требуется непрерывно расширять и углублять электрификацию и автоматизацию технологических процессов производств агропромышленного комплекса.

Эффективность использования техники в агропромышленном комплексе во многом зависит от уровня организации технического сервиса отрасли. В систему технического сервиса агропромышленного комплекса по функциональному назначению входят производственные, сервисные и управляющие структуры отрасли, которые связаны:

- ❖ технологическим использованием машин. К ним относятся сельско- и водохозяйственные предприятия различных форм собственности. Эти предприятия являются главными производителями продукции;

- ❖ обслуживанием товаропроизводителей ремонтными, материально-техническими, транспортными и другими видами производственных услуг как непосредственно в хозяйстве, так и на районном и региональных уровнях;

- ❖ управлением инженерно-технической системой в хозяйстве.

Дальнейшее развитие агропромышленного комплекса повышает требования к эксплуатации установленного и вновь вводимого электрооборудования. Научно-технический прогресс в сельском и водном хозяйстве вызывает необходимость дальнейшего совершенствования подготовки специалистов по эксплуатации электрооборудования.

Улучшение системы технического сервиса возможно при проведении единой технической политики, координации и совместной подготовки к решению задач маркетинга, учёта и аудита, подготовке кадров, модернизации ремонтно-технологического оборудования, подготовке производства, разработке нормативно-технической документации.

Непременным условием эффективного развития предприятий технического сервиса станет реализация рыночного экономического механизма в сфере технического сервиса, подразумевающая наличие и оптимальное взаимодействие таких элементов рынка, как спрос, предложение и цена.

Особую тенденцию в совершенствовании технического сервиса имеют предприятия, занимающиеся фирменным обслуживанием и ремонтом. Как правило, они имеют соответствующих специалистов по каждому виду техники, предпродажный сервис осуществляется с использованием технической документации и специального инструмента, многие сборочные операции механизированы, контроль за выполнением отдельных операций осуществляется с помощью компьютерной техники на современном уровне. Транспортные услуги по доставке сельскохозяйственной техники или других товаров производственного назначения могут рассматриваться также как вид сервиса, если такое обслуживание носит регулярный характер или предусмотрено договорными обязательствами.

## УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прослушавшие инструктаж по технике безопасности, ознакомившиеся с настоящими указаниями и прошедшие собеседование с преподавателем.

В лаборатории при проведении работ применяется напряжение 220/127 В переменного тока и 220 В постоянного тока. Питающее напряжение подаётся на стенды только преподавателем или лаборантом.

За выполнение правил техники безопасности ответственны: Преподаватель, ведущий занятия; Заведующий кабинетом и заведующий кафедрой; Студенты, выполняющие лабораторные работы.

При выполнении лабораторных работ студенты должны соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. Строго соблюдать правила техники безопасности и охраны труда, беречь лабораторные стенды и оборудование;
2. Собранные схемы лабораторных работ необходимо включать в сеть только после проверки преподавателем;
3. Перед включением схемы в сеть необходимо предупреждать преподавателя и других студентов;
4. Полученные данные должен проверить преподаватель;
5. После окончания выполнения лабораторных работ необходимо разобрать электрическую схему и привести в порядок рабочее место;
6. Выполнить расчет и подготовить отчет по лабораторной работе.

При проведении работ запрещается:

- пользоваться неисправными приборами, аппаратами, соединительными проводами;
- включать схему без разрешения преподавателя;
- производить изменения в схеме, находящейся под напряжением;
- касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением;
- оставлять схему под напряжением во время перерывов в работе и после окончания испытаний.

Перед выполнением лабораторных работ студенты должны:

1. Изучить содержание лабораторной работы, строго соблюдать порядок выполнения работы;
2. Нарисовать электрические схемы, изучить правила пользования лабораторным оборудованием и приборами, выполнить необходимые расчёты;
3. К выполнению следующей лабораторной работы допускаются студенты только после оформления предыдущей работы.

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

В процессе выполнения лабораторных работ студенты изучают назначение, устройство, принцип действия, область применения, характеристики, режимы работы и техническую эксплуатацию асинхронных электродвигателей, трансформаторов и пускозащитной аппаратуры. Приобретают навыки практической работы при выполнении различных мероприятий (измерения, испытания, регулировка, наладка и др.) по технической эксплуатации (техническое обслуживание, текущий или капитальный ремонт) электрооборудования. Для этого в лаборатории имеются элементы и испытательные стенды электрооборудования, их технические описания, каталоги, плакаты, а также учебно-методическая, научно-техническая и справочная литература. Каждая лабораторная работа требует предварительной подготовки. Каждый студент составляет и защищает отчёт о проделанной работе.

При предварительной подготовке студент, используя учебники, справочники, другую учебно-методическую и научно-техническую литературу, самостоятельно изучает материал по теме лабораторной работы и отвечает на поставленные вопросы для самостоятельной подготовки. Во время занятий полученные знания углубляются и закрепляются (для чего используются имеющиеся в лаборатории оборудование и учебные пособия). При составлении отчёта следует руководствоваться рекомендациями, изложенными в методических указаниях каждой работы. Контроль усвоения материала осуществляется в форме беседы преподавателя со студентом. По результатам беседы лабораторная работа зачитывается или не зачитывается.

В результате выполнения лабораторных работ студент ***должен знать:***

- назначение, устройство, принцип действия, область применения, характеристики, режимы работы соответствующего электрооборудования;
- основные операции по технической эксплуатации электротехнических установок и аппаратуры;

***иметь представление:***

- об основных научно-технических проблемах и перспективах развития электрооборудования и их технического сервиса.

## **Лабораторная работа № 1.**

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАСПОРТНЫХ ДАННЫХ И ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

#### **Цель работы:**

Освоить методику определения паспортных данных асинхронного двигателя и приёмы его эксплуатации.

#### **Программа работы.**

1. Изучить основные приёмы подготовки к пуску трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
2. Определить начало и конец фаз статорной обмотки.
3. Восстановить паспортные данные двигателя и включить его в сеть.

#### **Краткие указания к выполнению работы.**

Надёжность и бесперебойность работы двигателей, увеличение их срока службы могут быть достигнуты только при правильном техническом обслуживании электрооборудования и его своевременном ремонте.

В настоящее время в Агропромышленном комплексе (в сельском и водном хозяйстве), как и в промышленности, успешно применяется система, планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования (ППРсхЭО), представляющая собой совокупность организационных и технических мероприятий по надзору за оборудованием, его обслуживанию и ремонту.

*Система ППРсхЭО, применяемая в производствах Агропромышленного комплекса (АПК), предусматривает следующие виды работ технической эксплуатации: осмотр, техническое обслуживание, текущий ремонт, капитальный ремонт.*

*Технический осмотр* электродвигателя перед пуском является составной частью технического обслуживания и проводится ежедневно перед пуском. Перед пуском электродвигателя необходимо: осмотреть и, при необходимости, очистить электродвигатель от пыли и грязи сжатым воздухом или обтирочным материалом; проверить состояние подшипников и контактные соединения, если необходимо, подтянуть; проверить крепления двигателя на салазках и его соединение с рабочей машиной; проверить надёжность заземления электродвигателя и других аппаратов. При длительном простое электродвигателя или после ремонта необходимо проверить состояние обмоток статора.

По ГОСТ 118228-66 предусматривается проводить измерение сопротивления изоляции обмоток с номинальным напряжением до 500 В включительно мегомметром с напряжением до 500 В, а выше 500 В – мегомметром с напряжением 1000 В и выше. Вывод "Земля" подсоединяется к корпусу двигателя, а другой – к фазе. Все другие обмотки должны быть соединены с корпусом.

Согласно требованиям ГОСТ 183-66 сопротивление изоляции обмотки ( $R_{из}$ ) при рабочей температуре электродвигателя должно быть не менее

$$R_{из} = \frac{U_n}{1000 + 0,01P_n} , \quad \text{МОм} \quad (1.1)$$

где  $U_n$  – номинальное напряжение данной обмотки, В;  
 $P_n$  – номинальная мощность двигателя, кВт.

При этом номинальное значение сопротивления изоляции должно быть не менее 0,5 МОм (Таблица 1.1).

Известно, что сопротивление изоляции в сильной степени зависят от температуры, быстро снижаясь с увеличением её, поэтому ГОСТ предусматривает удваивать значение, полученное по выражению (1), на каждые 20°C полные или неполные разности между рабочей температурой ( $t_{раб}$ ) и температурой при измерении ( $t_{изм}$ )

$$R_{из} = \frac{U_n}{1000 + 0,01P_n} * 2^n , \quad (1.2)$$

где  $n = \frac{(t_{раб} + t_{изм})}{20}$  .

**Техническое обслуживание** электродвигателей предполагает контроль их состояния до пуска и в процессе работы, регулярный плановый осмотр (контроль сопротивления изоляции обмоток, температура обмоток и подшипников, смазка трущихся поверхностей, проверка неисправности заземления станины и т.д.), устранение мелких неисправностей и проверку защиты электродвигателей от перегрузок.

Таблица 1.1.

Класс изоляции	Y	A	E	B	F	H	C
Допустимая температура, °C	90	105	120	130	155	180	>180

**Текущий ремонт** вид ремонта электрооборудования и сетей, при котором путём проверки, замены быстро изнашивающихся частей и покупных изделий, а в необходимом случае, и путём наладки, обеспечивается поддержание электрооборудования и сетей в работоспособном состоянии в период гарантированной наработки до следующего очередного планового ремонта. То есть, каждый плановый ремонт выполняется в объёме, восполняющем те потери в состоянии электрооборудования, которые явились результатом их эксплуатации в течение периода, предшествовавшего их работе.

В типовой объём текущего ремонта полностью включаются все операции, предусмотренные типовым объёмом осмотров и технических обслуживаний.

Текущий ремонт проводится при отключенном оборудовании с частичной или полной разборкой и является плановой профилактической операцией по отношению к капитальному ремонту.

Своевременные осмотры и техническое обслуживание дают возможность увеличить гарантийную наработку электрооборудования до очередного текущего ремонта и снизить его объём работы.

Для правильной эксплуатации электродвигателей необходимо знать его номинальные данные, которые нанесены на металлической табличке (паспорте) укрепленной на его корпусе.

К номинальным данным асинхронного двигателя относятся: напряжение –  $U_n$ , ток –  $I_n$ , мощность –  $P_n$ , коэффициент полезного действия –  $\eta_n$ , коэффициент мощности –  $\cos \varphi_n$ , скорость вращения –  $n_n$  и частота тока –  $f_n$ . Однако, в ремонтной и эксплуатационной практике встречаются электродвигатели, номинальные паспортные данные которых отсутствуют. Эти данные эксплуатационному персоналу приходится определять опытным путём.

### **Порядок выполнения работы.**

#### **1. Проверка правильности выбора выводов обмотки статора.**

На выводах статорной обмотки обычно имеются бирки с обозначением начал (С1, С2, С3) и концов (С4, С5, С6) обмоток статора. В практике довольно часто эти бирки отсутствуют. Возникает необходимость определить начала и концы фаз опытным путём. Эту работу выполняют в два этапа. На первом этапе с помощью мегомметра (омметра) или контрольной лампы определяют принадлежность выводов к соответствующим фазам, а на втором – определяют начала и концы фаз обмотки статора. Эта часть работы может быть выполнена следующими методами: а) подбора; б) трансформации (при мощности двигателя до 2,8 кВт); в) открытого треугольника.

**Метод трансформации заключается в следующем.** Обмотки двух фаз соединяют последовательно и включают в сеть. Обмотку третьей фазы присоединяют к вольтметру или к контрольной лампочке. Если соединены разноимённые выводы, то есть конец одной фазы с началом второй, то в третьей – индуцируется электродвижущая сила. Это фиксируется прибором или контрольной лампой. При соединении между собой одноимённых, выводов фаз, электродвижущая сила в витках третьей фазы не индуцируется и стрелка вольтметра не отклоняется, лампочка не горит).

**Метод открытого треугольника заключается в следующем.** Все фазы, соединяются в открытый треугольник и подают питание от сети. Вольтметром на фазах измеряют напряжение. Если  $U_1 = U_2 = U_3$ , то все обмотки включены согласно. Если одна обмотка включена встречно, то в ней напряжение больше, чем в двух других, так как в ней наводится ЭДС, обусловленная взаимной индукцией.

#### **2. Определение номинальных данных электродвигателя.**

**а) Приближённый метод.** Приближённый метод применяется в условиях эксплуатации, когда известно, что электродвигатель или не был в ремонте, или при ремонте его параметры не изменялись.

По внешнему виду, материалу корпуса и подшипниковых щитов определяют тип электродвигателя (А2, А02, 4А, 4АА, 4АН, и т.д.); у двигателей серии 4А дополнительно измеряется высота оси вращения в миллиметрах.

После чего необходимо убедиться в исправности электродвигателя (измерить сопротивление изоляции  $R_{из}$ , продольный и осевой зазор в подшипниках, убедиться в комплектности электродвигателя и т.д.) и подключить его в сеть напряжением **220 В** «звездой». При этом необходимо измерить ток холостого хода ( $I_{хх} = I_o$ ) при номинальном напряжении и частоте вращения ( $n_{хх}$ ).



Номинальная мощность электродвигателя приближённо может быть определена по формуле

$$P_n = 3 \cdot U_\phi \frac{I_o}{0,4...0,6} \cos \varphi \cdot \eta \quad \text{кВт} \quad (1.3)$$

Для двигателей небольшой мощности произведение  $\cos \varphi \cdot \eta$  можно принять равным  $0,6...0,7$ .

По полученной мощности и частоте вращения принимается ближайший двигатель по каталогу. Если расчётная мощность сильно отличается от каталожной, необходимо включить, двигатель треугольником и опыт повторить.

Номинальная мощность электродвигателя может быть также определена по нижеследующей формуле

$$P_n = \frac{A \cdot I_o}{B}, \quad (1.4)$$

где  $A$  – параметр, зависящий от частоты вращения, мощности и габаритов электродвигателя;

$B$  – параметр, зависящий от номинального напряжения электродвигателя.

Значение параметров  $A$  и  $B$  приведены в таблицах 1.2 и 1.3.

Другие параметры (паспортные данные) испытуемого электродвигателя принимаются по каталогу.

Таблица 1.2.

Напряжение, В	220	380	500
Значение параметра $B$	3,5	2	1,5

Таблица 1.3.

Пределы мощности, кВт	Значение параметра $A$ при частоте вращения, об/мин			
	3000	1500	1000	750
1 – 10	3,0	2,0	1,8	1,65
10 – 50	4,8	2,5	2,2	2,0
50 – 100	5,5	3,2	2,9	2,5

**б) Точный метод.** Для определения номинального напряжения, двигателя при холостом ходе двигателя, после того, как подшипники нагреются до установившейся температуры, снять кривую зависимости тока от холостого хода  $I_o$  до напряжения  $U_o$ . Номинальным напряжением следует считать такое ближайшее стандартное напряжение, при котором возникает перегиб характеристики холостого хода.

Необходимо собрать схему для снятия характеристики холостого хода  $I_o=f(U_o)$ . Опыт проводить при соединенной нагрузочной машине и результаты записать в таблицу 1.4.

Таблица 1.4.

$U_o$	В									
$I_o$	А									
$\Delta P_o$	Вт									

Если полученное напряжение значительно отличается от стандартного, то это означает:

- а) электродвигатель выполнен не на стандартную частоту;
- б) электродвигатель неисправен.

Номинальный ток двигателя можно определить, если кроме опыта холостого хода провести опыт короткого замыкания, снять кривую нагрева и замерить активное сопротивление фазы.

Опыт короткого замыкания проводят при заторможенном роторе. Величина тока статора для проведения опыта короткого замыкания определяется по следующему выражению:

$$I_{кзф} = 2I_{оф} , \quad (1.5)$$

где  $I_{оф}$  – ток холостого хода при номинальном напряжении.

Результаты опыта занести в таблицу 1.5.

Таблица 1.5.

$\Delta P_v$ , Вт	$I_{кзф}$ , А	$r_{кз} = \frac{\Delta P_v}{m \cdot I_{кзф}^2}$ , Ом
-------------------	---------------	--

где  $\Delta P_v$  – мощность, потребляемая электродвигателем при токе  $I_{кзф}$ ;

$m$  – число фаз обмотки статора;

$r_{кз}$  – активное сопротивление короткого замыкания.

При помощи нагрузочного устройства установить фазный ток, равный  $I_{кзф}$  и снять кривую нагрева (рис.1). Построить кривую нагрева и определить установившееся превышение температуры обмотки  $U_{уст}$ .

Номинальный ток электродвигателя определяется по выражению:

$$I'_{нф} = \sqrt{\frac{v_{доп} \cdot (\Delta P'_o + m \cdot I_{кзф}^2 \cdot r_{кз}) - v_{уст} \cdot \Delta P'_o}{m \cdot v_{уст} \cdot r_{кзф}}} , \quad (1.6)$$

где:  $\Delta P'_o = \Delta P_o - m \cdot I_{оф}^2 \cdot r$  ;

$v_{доп}$  – допустимое превышение температуры обмотки статора для соответствующего класса изоляции;

$\Delta P_o$  – сумма потерь в стали и механические потери,

$r$  – активное сопротивление фазы.

Если температура окружающей среды отличается от стандартной (+35°C), то необходимо сделать перерасчёт:

$$I_n = \frac{I'_{нф}}{\sqrt{\frac{v_{доп} - v_{окр}}{v_{доп} - 35}}} , \quad (1.7)$$

где  $v_{доп}$  – допустимая температура для данного класса изоляции обмоточного провода;

$v_{окр}$  – температура окружающей среды.

Установить номинальный ток  $I_{нф}$  напряжение и определить мощность  $P_I$ . После чего необходимо определить коэффициент полезного действия  $\eta$  и коэффициент мощности  $\cos\phi$  электродвигателя:

$$\eta = \frac{P_1 - \Sigma \Delta P}{P_1}, \quad (1.8)$$

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{m \cdot I_{нф} \cdot U_{1ф}}, \quad (1.9)$$

где:  $\Sigma \Delta P = \Delta P_o' + \Delta P_{v1} + \Delta P_{доб}$  ;

$\Delta P_{v1} = \Delta P_v \cdot (I_n / I_{кз})^2$  – потери в обмотках двигателя, равные мощности, потребляемой заторможенным двигателем при токе  $I_{кзф} = I_{нф}$  (1.5) ;

$\Delta P_{доб} = 0,001 \cdot P_1$  – добавочные потери.

Определить мощность на валу двигателя  $P_n$  по полученному значению  $P_2$  принять ближайшую стандартную мощность по каталогу.

Номинальную скорость вращения необходимо измерить при номинальной нагрузке  $I_{нф}$  тахометром или стробоскопом.

Данные опыта и расчётов внести в таблицу 1.6 и сравнить с каталожными данными.

Таблица 1.6.

Тип электродвигателя	$U_{нф}$	$I_{нф}$	$\Delta P_o$	$\Delta P_{o1}$	$\Delta P_{доб}$	$\Sigma \Delta P$	$P_n$	$\eta$	$\cos \varphi$	$N$
Размерность	В	А	Вт	Вт	Вт	Вт	кВт			об/мин

### **Содержание отчёта.**

1. Вычертить электрическую схему установки.
2. Представить таблицы с результатами всех проведённых опытов.
3. Начертить графики зависимостей  $I_o = f(U_o)$  ,  $v = f(t)$  и показать как определить номинальное напряжение ( $U_n$ ) и установившуюся температуру ( $v_{уст}$ ).
4. Привести расчёт  $I_n$ ,  $P_2$ ,  $\eta_n$ ,  $\cos \varphi_n$ .
5. Привести тип и паспортные данные двигателя, выбранного по каталогу.

### **Контрольные вопросы.**

1. Когда и как проводят технический осмотр электродвигателей?
2. Какие существуют способы определения начал и концов обмоток электродвигателей?
3. Какие опыты необходимо провести для определения паспортных данных асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором?
4. Как проводят опыт короткого замыкания?
5. Как определяют рабочие и механические характеристики?

### **Литература.**

1. Пястолов А.А. Практикум по монтажу, эксплуатации и ремонту электрооборудования.- М.: Колос, 1976.- 343 с.
2. Кисель О.В. Неисправности электрооборудования и способы их устранения.- М.: Колос, 1974.- 256 с.
3. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий (ППРЭСх).- М.: ВО Агропромиздат, 1987.- 191 с.

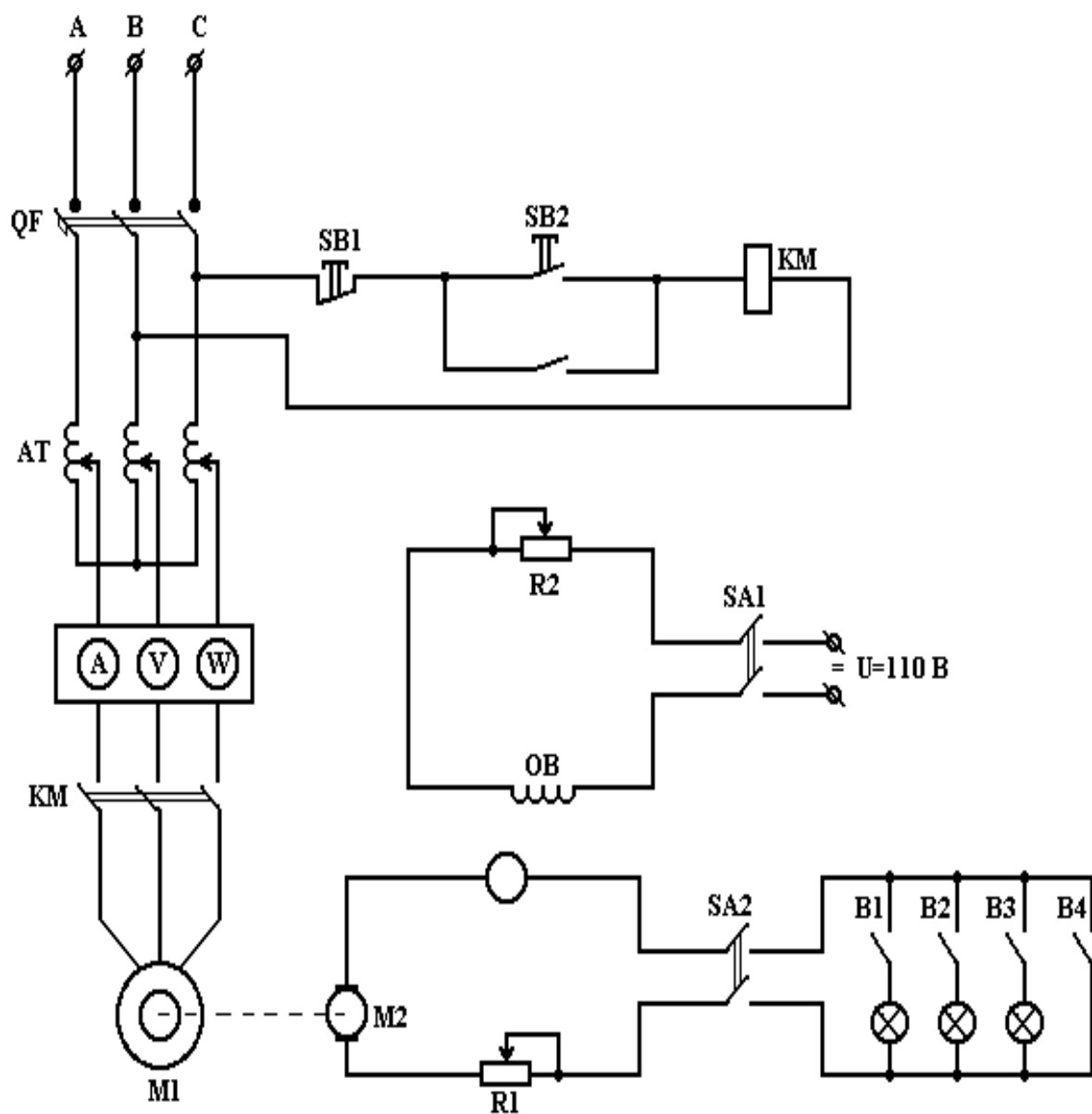


Рис. 1.1. Принципиальная схема стенда для испытания и определения паспортных данных асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

## **Лабораторная работа № 2.**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ АНОРМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ**

### **АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

### **С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

#### **Цель работы:**

Изучить основные виды аномальных режимов асинхронных электродвигателей, причины их возникновения и способы их защиты.

#### **Программа работы.**

1. Рассчитать пусковые токи электродвигателя при трёхфазном и однофазном питании.
2. Произвести включение двигателя в трёхфазную и однофазную сети, измерить пусковые токи и сравнить их с расчётными.
3. Измерить токи и напряжения на фазах двигателя в нормальном и аварийных режимах при различной нагрузке электродвигателя, построить векторные диаграммы.
4. Проверить работу магнитного пускателя (МП) при потере фазы до пуска и после пуска электродвигателя. Определить при каком напряжении статора происходит отключение МП.
5. Измерить линейные и фазные токи при нормальном питании и при потере фазы.

#### **Краткие указания к выполнению работы.**

Возникновение неполнофазных режимов связано с действием пофазной защиты, подгоранием контактов пусковой аппаратуры и т.д.

Под потерей фазы понимают однофазный режим работы в результате отключения питания по одному из проводов трёхфазных проводов трёхфазной системы. Причинами потери фазы могут быть: обрыв одного из проводов (рис.2.1,а); сгорание одного из предохранителей (рис.2.1,б); нарушение контакта в одной из фаз (рис.2.1,в).

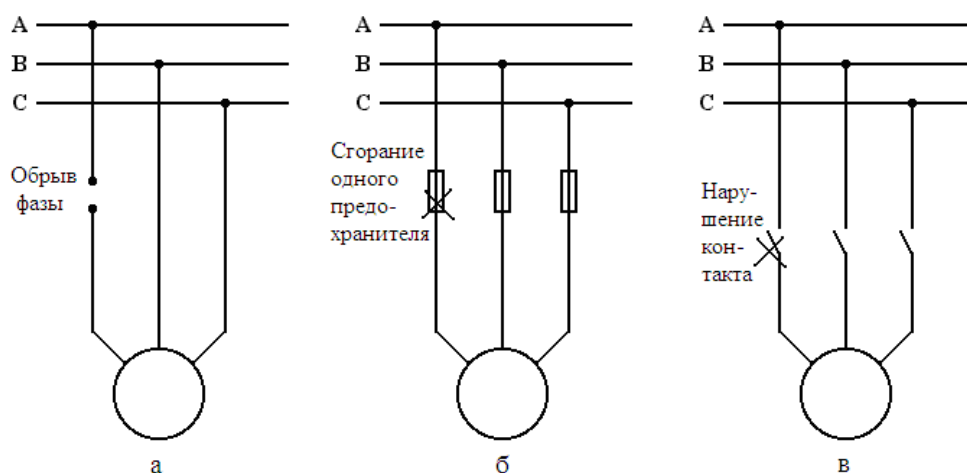


Рис.2.1. Причины неполнофазных режимов электродвигателя.

В зависимости от обстоятельств, при которых произошла потеря фазы, могут быть различные режимы работ электродвигателя и последствия, сопутствующие этим режимам.

При этом следует принимать, во внимание следующие факторы:

- 1) схему соединения обмоток электродвигателя звезда (рис.2.2) или треугольник (рис.2.3);
- 2) степень загрузки электродвигателя и техническую характеристику рабочей машины;
- 3) число электродвигателей, работающих при потере фазы, их взаимное влияние.

Потеря фазы вызывает нарушение симметрии питающих напряжений, степень несимметрии напряжений может варьировать в широких пределах.

При потере фазы две обмотки обтекаются одним и тем же током, в третьей фазе ток отсутствует. Несмотря на то, что все концы обмоток присоединены к двум фазным проводам трехфазной системы, токи в обеих обмотках совпадают по времени.

Возможны два случая, при которых возникают различные условия перегрузки.

**Первый случай** – потеря фазы происходила до включения электродвигателя. При этом на неподвижный ротор действуют два магнитных

поля, которые образуют два противоположных по знаку, но равных по величине момента, их сумма будет равна нулю. Поэтому при пуске двигателя в однофазном режиме не может развернуться при отсутствии нагрузки на валу.

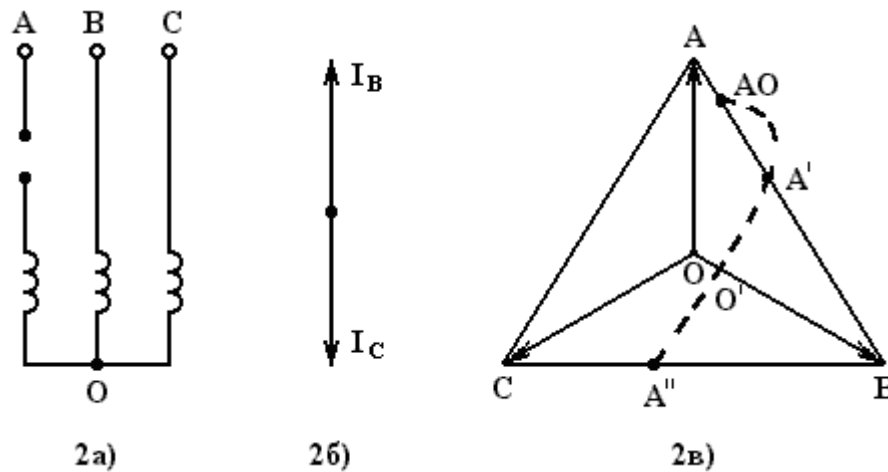


Рис.2.2. Соединение обмоток статора в звезду.

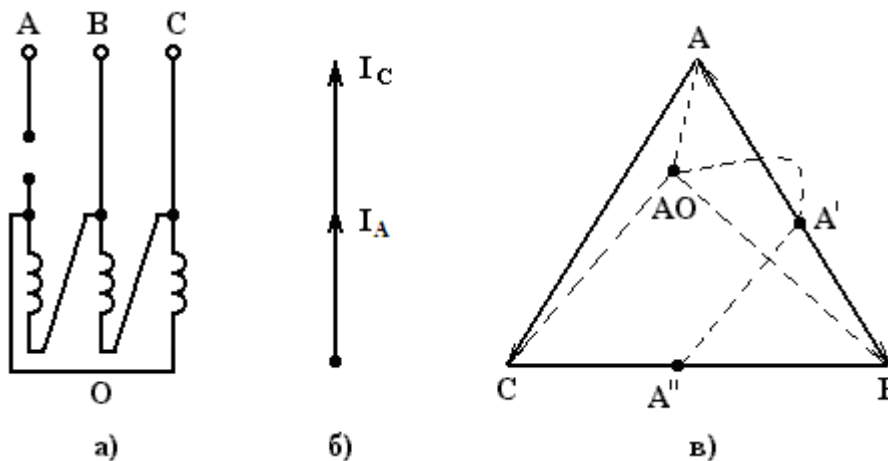


Рис.2.3. Соединение обмоток статора в треугольник.

Переход в однофазный режим сопровождается перераспределением токов и напряжений между фазами.

Если обмотки электродвигателя соединены в  $\Delta$  (рис.2.2), то после потери фазы две последовательно соединенные обмотки электродвигателя оказываются включенными на линейное напряжение  $U_L$ , двигатель при этом оказывается в однофазном режиме работы.

Сопротивления  $Z_A$ ,  $Z_B$ ,  $Z_C$  соединены последовательно, напряжения на фазах **A** и **B** будут равны:

$$U_{AO} = U_{BO} = \frac{U_{AB}}{2} . \quad (2.1)$$

Пусковой ток фазы А при потере фазы С:

$$I_{1\phi} = \frac{U_{AO}}{Z_A} = \frac{U_{AB}}{2Z_A} , \quad (2.2)$$

а в полнофазном режиме:

$$I_{3\phi} = \frac{U_{AO}}{Z_A} = \frac{U_{AB}}{\sqrt{3}Z_A} , \quad (2.3)$$

где  $U_{AO}$  – фазное напряжение сети

$$\frac{I_{1\phi}}{I_{3\phi}} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,86 , \quad (2.4)$$

из соотношения следует, что при потере фазы пусковой ток составляет 86% от величины пускового тока при трёхфазном питании. Если учесть, что пусковой ток асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в 6-7 раз больше номинального, то получается, что по обмоткам электродвигателя протекает ток

$$I_{1\phi} = 0,86 \cdot 6 \cdot I_n = 5,16 \cdot I_n . \quad (2.5)$$

За короткий промежуток времени такой ток перегреет обмотку до опасной температуры, если обмотки двигателя соединены по схеме (рис.2.3) в пусковом режиме по обмоткам будет протекать ток

$$I'_{AB} = I_{AB} ; \quad I'_{CB} = 1/2 \cdot I_{AB} ; \quad (2.6)$$

$$I'_A = I'_{AB} + I'_{CB} = 1,5 I_{AB} = k_L \cdot \frac{I_{нл}}{\sqrt{3}} = 0,86 \cdot k_L \cdot I_{нл} . \quad (2.7)$$

Напряжение между оборванной и здоровой фазами равно половине линейного.

**Второй случай.** Потеря фазы происходит после включения двигателя в работу. При этом двигатель имеет вращающий момент, который в большинстве случаев достаточен для преодоления сопротивления рабочей машины. В отличие от трёхфазного симметричного режима появляется характерное гудение. В остальном, высшие проявления аварийного режима, не наблюдаются.

Переход в однофазный режим сопровождается перераспределением токов и напряжений между фазами. При этом, величина тока электродвигателя



возрастает и становится больше номинальной и электродвигатель окажется перегруженным. Напряжение между отключенной и здоровыми фазами будет зависеть от скольжения. При холостом ходе электродвигателя напряжение между фазами близко к симметричному для трехфазной системы, а напряжение нейтрали звезды (точка С) (рис.2.2) становится равным нулю, т.е. при изменении скорости вращения ротора от нуля до синхронной в однофазном режиме работы напряжение на фазах А и В изменяется от значения равного половине линейного, до значения, равного фазному напряжению сети.

Особенности неполнофазных режимов работы трёхфазного электродвигателя должны учитываться при проектировании и эксплуатации защиты от перегрузок.

При использовании защиты, работающей по напряжению, необходимо учитывать зависимость напряжения между фазами электродвигателя от нагрузки.

#### **Порядок выполнения работы.**

1. Начертить и собрать электрическую схему установки (рис.2.4).
2. Рассчитать пусковые токи электродвигателя в трёхфазном и однофазном питании.
3. Включить электродвигатель, измерить токи и напряжения при различных нагрузках (холостой ход);  $(0,5-0,6) P_n$ ;  $(0,8-1,0)P_n$ ;  $(1,1-1,2) P_n$  в трёхфазном режиме, при обрыве фазы и при обрыве фазы с замыканием её на нужный провод. Показания прибора занести в таблицу 2.1.
4. Проверить возможность пуска электродвигателя при обрыве фазы с замыканием на нулевой провод.
5. Включить электродвигатель при трёхфазном питании и оборвать фазу, постепенно увеличивая, нагрузку, заметить, при каком токе происходит отключение магнитного пускателя.
6. Начертить векторные диаграммы напряжений в соответствии с пунктом 3.

Таблица 2.1.

Режим работы ЭД		$I_{\Delta}$			$I_{\phi}$			$U_{\phi}$		
Загрузки	Схема питания	AB	BC	CA	A	B	C	A	B	C

**Контрольные вопросы.**

1. Как подсчитываются пусковые токи при однофазном и трёхфазном питании?
2. Почему возникает перегрев электродвигателя при потере фазы?
3. Как защитить электродвигатель от однофазного режима работы?
4. Срабатывает ли магнитный пускатель при потере фазы?
5. В каких пределах возрастает ток при обрыве фазного сетевого провода в оставшихся в работе фазах электродвигателя при соединении в треугольник и звезду.

**Литература.**

1. Мусин А.М. Аварийные режимы асинхронных двигателей и способы их защиты.- М.: Колос, 1979.- 216 с.
2. Славин Р.М. Режимы работы и защиты автоматических установок животноводческих ферм.- М.: Колос, 1965.- 237 с.

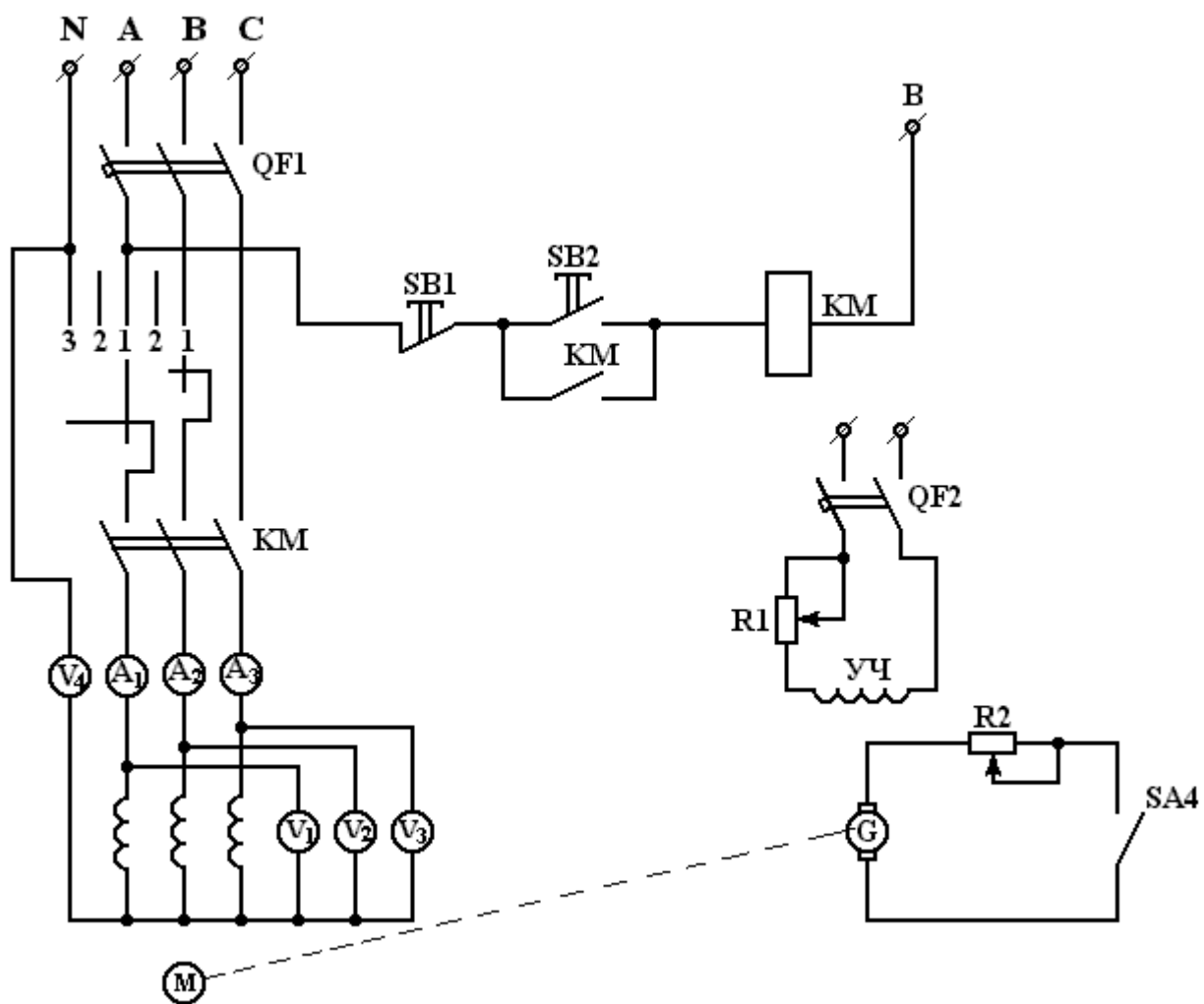


Рис.2.4. Электрическая схема лабораторной установки.

### **Лабораторная работа № 3.**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ И СПОСОБЫ ИХ СУШКИ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

### **Цель работы:**

Изучить основные способы определения влажности обмоток электрических двигателей и получить необходимые навыки по сушке их в условиях эксплуатации.

### **Программа работы.**

1. Определить степень увлажнения изоляции электрических двигателей различными способами и дать заключение о её состоянии.
2. Освоить методику сушки группы электрических двигателей с помощью универсального стенда. Определить параметры сушки.

### **Краткие указания к выполнению работы.**

Материалы, применяемые для изоляции обмоток электрических двигателей не являются идеальными диэлектриками и меняют своё сопротивление в процессе эксплуатации, как при механических повреждениях и загрязнении поверхности, так и при изменении температуры и увлажнении.

Одной из особенностей производств Агропромышленного комплекса являются тяжёлые условия работы электрооборудования: запылённость на зернотоках и мельницах, в деревообрабатывающих мастерских; значительная влажность и наличие химически активных веществ на животноводческих фермах и насосных станциях; резкое колебание температуры в течение года при работе на открытом воздухе.

На рисунке 3.1 приведены кривые изменения сопротивления изоляции электродвигателей в процессе эксплуатации, а на рисунке 3.2 – изменение сопротивления изоляции во время работы и простоя. Из кривых видно, что сопротивление резко изменяется, при увеличении влажности и температуры.

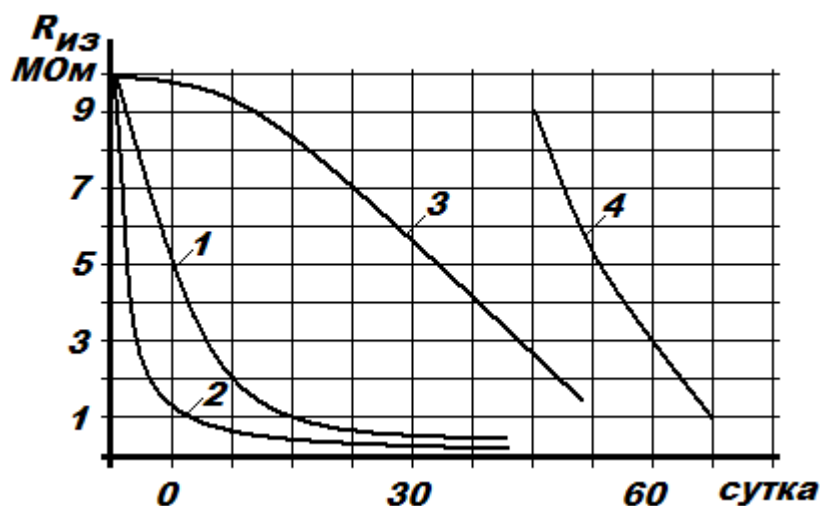


Рис.3.1. Кривые изменения сопротивления изоляции электродвигателей:

- 1 – привод калорифера; 2 – привод молочного насоса;  
3 – дробилки АИК-3; 4 – привод водяного насоса.

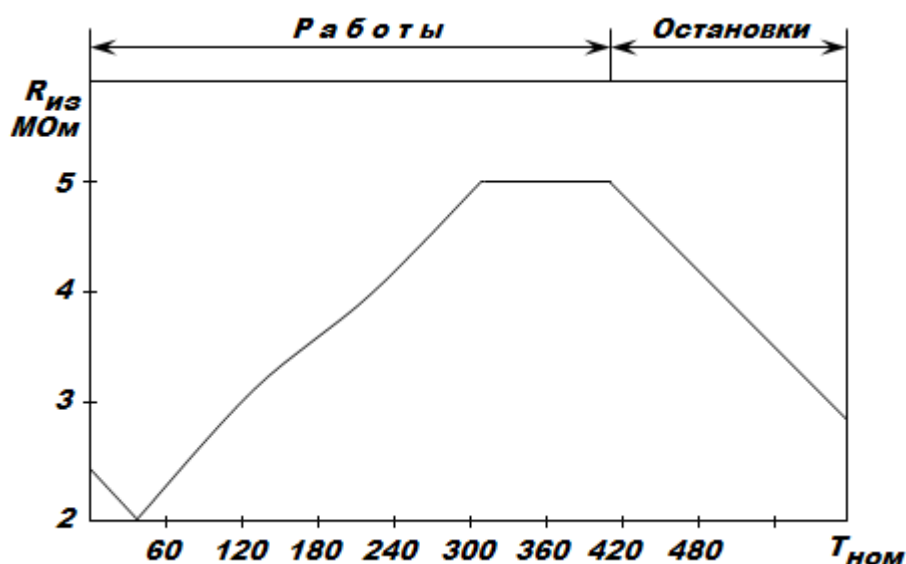


Рис.3.2. Изменение сопротивления изоляции двигателей  
во время простоя и работы.

Ориентировочно считают, что при повышении температуры на 18-20°C сопротивление изоляции уменьшается в два раза. Нередко это явление бывает причиной выхода электродвигателя при наладочном пуске. Поэтому, при эксплуатации электрических двигателей, необходимо своевременно определять состояние изоляции. Учитывая, что сопротивление изоляции зависит от многих

факторов, в том числе от поверхностного сопротивления, то трудно правильно оценить ее состояние только по фактической величине сопротивления.

В отличие от сопротивления изоляции величина коэффициента абсорбции ( $K_{abc} = R_{60}/R_{15}$ ) значительно меньше подвержена, влиянию различных случайных факторов. Её заметное снижение возможно лишь при весьма существенном ухудшении состояния изоляции. При хорошей, сухой изоляции коэффициент абсорбции составляет 1,5-2,0, а для увлажнённой – приближается к единице. Это объясняется тем, что ток сквозной проводимости сильно зависит от влажности изоляции, ток же абсорбции и его начальное значение от влажности практически не зависит. Поэтому по отношению этих токов можно судить о влажности изоляции.

Отношение этих токов можно определить путём измерения сопротивления изоляции в момент приложения напряжения ( $t \rightarrow \infty$ ) и после затухания тока абсорбции ( $t \rightarrow 0$ ). Практически провести эти измерения весьма трудно, поэтому приняты промежутки времени 15 и 60 сек. (измерение 15-ти секундного ( $R_{15}$ ) и 1-минутного ( $R_{60}$ )) значений сопротивления изоляции.

Измерение 15-секундного и 1-минутного значений сопротивлений может быть осуществлено с помощью мегомметра, амперметра-вольтметра и только одного вольтметра при питании от сети постоянного и переменного (с последующим выпрямлением) тока.

Для измерения сопротивления  $R_{15}$  и  $R_{60}$  могут быть использованы мегомметры с ручным и моторным приводом.

Перед измерением  $R_{из}$  обмотки необходимо заземлить на 1–2 минуты, чтобы избежать влияния остаточных зарядов. Ручку мегомметра вращать, по возможности равномерно со скоростью **120 об/мин.**

Схема соединения при измерении сопротивления изоляции  $R_{15}$  и  $R_{60}$  методом вольтметра при питании от сети постоянного тока приведена на рис.3.3.

При измерении предварительно фиксируют напряжения сети, для чего переключатель ставят в положение **1**. Затем переключатель переводят в

положение **3** и замеряют показания вольтметра  $U_2$  через **15** и **60** секунд. Вновь переводят переключатель в положение **1** и замеряют  $U_1$ . После этого определяют значения  $R_{15}$  и  $R_{60}$ :

$$R_{15} = r_b \frac{U'_1 - U_{2(15)}}{U_{2(15)}}, \quad (3.1)$$

$$R_{60} = r_b \frac{U'_1 - U_{2(60)}}{U_{2(60)}}, \quad (3.2)$$

где  $r_b$  – сопротивление вольтметра.

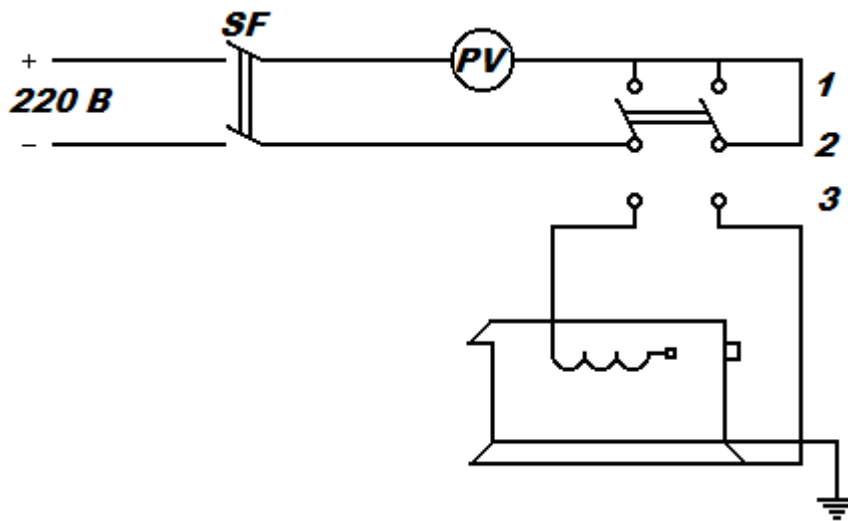


Рис.3.3. Схема измерения сопротивления изоляции на постоянном токе с помощью вольтметра.

Для получения большой точности измерений вольтметр выбирают с большим сопротивлением.

При наличии вольтметра и микроамперметра измерение  $R_{15}$  и  $R_{60}$  ещё более упрощается.

Если коэффициент абсорбции получится близкий к **1**, то это означает, что двигатель сырой (его надо сушить), или в изоляции имеются повреждения. Окончательно ответить на этот вопрос можно только после сушки.

Существует ряд способов сушки обмоток электрических двигателей. Метод потерь в стали статора, током короткого замыкания, в сушильных шкафах, с помощью инфракрасных ламп, воздуховодов и других нагревательных устройств. В данной работе необходимо ознакомиться с

сушкой обмоток электрических двигателей с помощью сушильных шкафов и с помощью универсального стенда.

Одним из наиболее ответственных моментов при сушке двигателей является выбор температуры сушки. Чем выше температуры сушки, тем быстрее удаляется влага из обмоток и сокращается время сушки. Однако температура сушки для каждого класса изоляции ограничивается её нагревостойкостью во избежание ускоренного старения. Ориентировочно считают, что с увеличением температуры сушки на 8-10°C, против предельной температуры, скорость старения изоляции увеличивается вдвое.

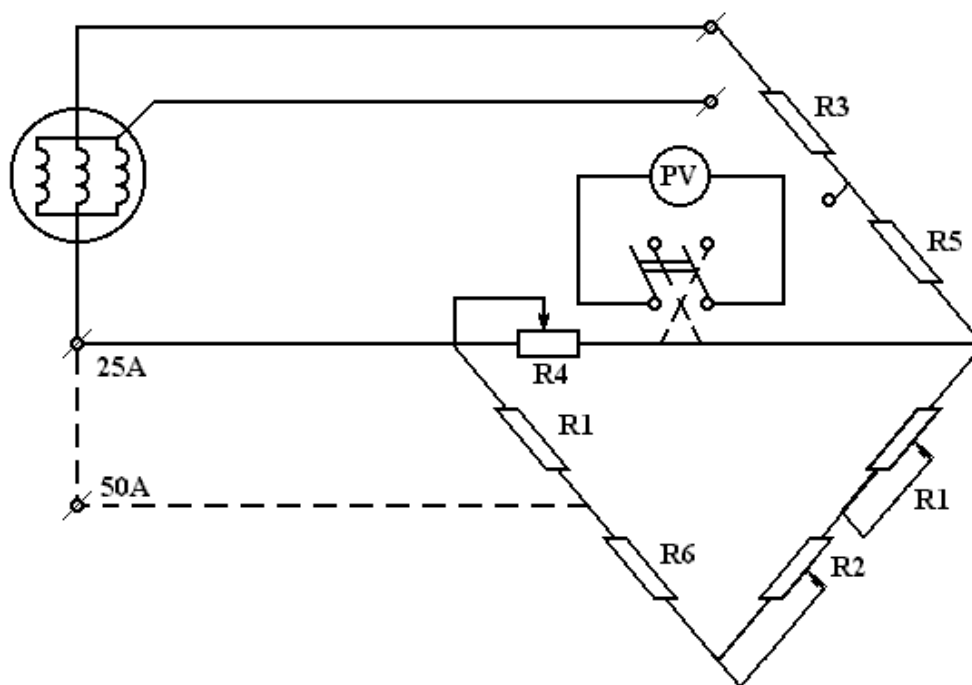


Рис.3.4. Схема сушки обмоток электродвигателя с контролем температуры.

Допустимая температура сушки должна строго соответствовать классу изоляции и ориентировочно может быть принята по таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Класс изоляции	Оптимальная температура сушки, °C		Максимальная допустимая температура сушки, °C
	при атмосферном давлении	в вакууме	
A	110 – 120	80 – 90	130
B	130 – 140	120 – 130	150
E	120 – 130	90 – 110	140
H	175 – 185	—	200



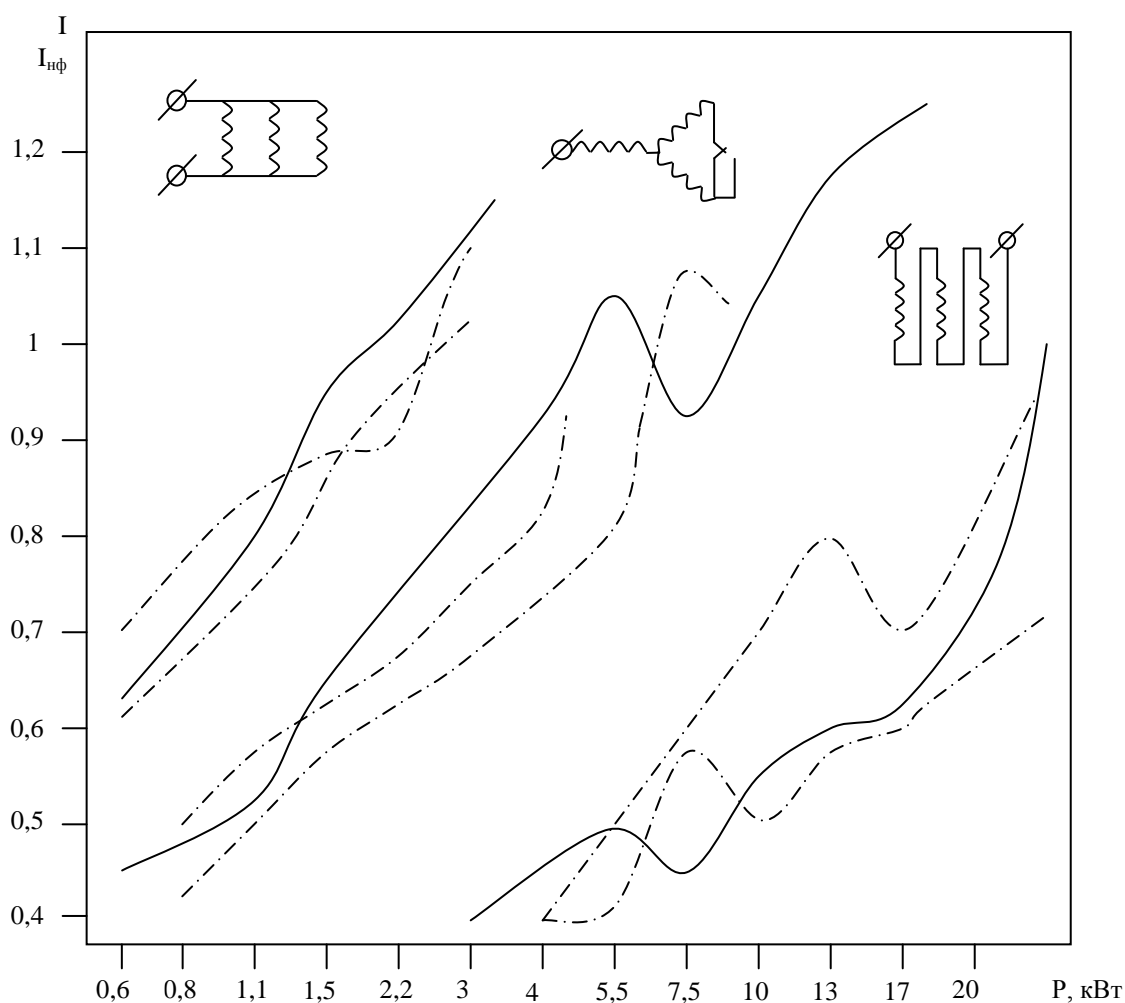


Рис.3.5. Кривые для выбора тока сушки двигателей в зависимости от схемы соединения обмоток.

Длительность режима сушки зависит от химического состава и физических свойств изоляционных материалов, конструкции изоляции обмоток, степени их увлажнения температуры сушильной печи, скорости циркуляции воздуха и т.д. Практически же сушку можно прекращать, если сопротивление изоляции обмоток в горячем состоянии будет составлять несколько десятков мегаом и при длительной сушке не будет увеличиваться. Если двигатель не поддаётся сушке, то её надо на некоторое время прекратить, провентилировать и охладить обмотку, а после этого вновь приступить к сушке. В начале сушки сопротивление должно падать, а затем увеличиваться, так как двигатель начнёт подсушиваться, если длительное время сопротивление изоляции остается очень

низким и не растёт, то следует сушку прекратить и попытаться определить причину (очень сильная запылённость, наличие механических повреждений).

Для сушки обмоток электрических двигателей можно использовать универсальный стенд. На рис. 3.4 показана мостовая схема для сушки обмоток (полная схема стенда приведена в работе № 5).

Обмотки трехфазных машин, соединенные последовательно или параллельно, составляют одно плечо моста и являются датчиком температуры. Разборка двигателей и установки датчиков температуры, не требуется.

В начале сушки устанавливают определенной величины ток, протекающий через обмотки двигателя, (меняя напряжение на обмотке трансформатора  $T_p$ ), а сопротивлением  $R_2$  устанавливают стрелку  $mV$  на нуль. Затем переключатель  $\Pi_4$  и выключатель  $B_3$  ставят в положение «имитация  $50^\circ$ », а сопротивлением  $R_4$  устанавливают отрезку прибора на середину или конец шкалы. В первом случае вся шкала будет соответствовать повышению температуры на  $100^\circ$ , а во втором на  $50^\circ$ . После этого выключатель  $B_3$  и переключатель  $\Pi_4$  ставят в положение «работа». Следует иметь в виду что прибор стенда даёт среднее значение повышения температуры обмотки машины над температурой окружающей среды. Температура лобовых частей обмотки может быть выше этого значения на  $5-8^\circ C$ . При определении абсолютной температуры обмотки температура окружающей среды и показания прибора (проградуированного в градусах) суммируются.

Величина тока при сушке выбирается такой, чтобы установившаяся температура обмоток не была больше допустимой (таблица 3.1). Обычно ток сушки находится в пределах  $(0,4-0,7) I_{н.д.}$ . Чем больше номинальная скорость вращения двигателя, тем должен быть меньше относительный ток сушки. Ток сушки двигателей малой мощности (до 3 кВт) может быть выбран в пределах  $(0,6-1,0) I_{н.д.}$ . На рис.3.5 приведена зависимость токов электродвигателей серии АО при сушке от их мощности и способа соединения обмоток при напряжении стенда 12 В.

На стенде можно сушить группу двигателей различной мощности. Контроль температуры при этом ведут по одному или группе одинаковых двигателей ток у которых относительно номинального будет наибольшим. Двигатели могут соединяться между собой параллельно или последовательно. Это зависит от совокупности, двигателей, которые надо сушить одновременно.

Если температура двигателя, при сушке превысит допустимое значение, то следует выключить стенд на несколько минут и затем снова включить или уменьшить ток сушки, но при этом ручкой «установка 50°» необходимо установить стрелку прибора на прежнее положение, т.е. привести чувствительность моста в соответствии с изменившимся напряжением.

Соединительные провода при сушке должны быть, по возможности, короткими и иметь соответствующее сечение. Время прекращения сушки определяется по изменению температуры в течение одного часа. Если температура в течение 1 часа будет меняться на 1°C, то сушка считается законченной.

### **Порядок выполнения работы.**

1. Вычертить и собрать электрические схемы для измерения сопротивления изоляции обмоток двигателя, измерить сопротивления  $R_{15}$  и  $R_{60}$  тремя способами, определить коэффициенты абсорбции и дать заключение о состоянии изоляции. Данные внести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2.

№ п/п	Тип двигателя и его мощность	Способ измерения $R_{15}$ и $R_{60}$	$R_{15}$ , МОм	$R_{60}$ , МОм	$K_{abc}$	Заключение состояние изоляции

2. Собрать схему сушки отдельного двигателя с помощью универсального стенда. Включить стенд в работу, данные сушки занести в таблицу 3.3.

Таблица 3.3.

№ п/п	Тип двигателя и его мощность	Изоляция	$R_{из}$ , МОм	Время сушки $t$ , мин	Температура обмоток $t$ , °С

3. По заданию руководителя определить параметры и схему групповой сушки двигателей с помощью универсального стенда.

#### **Контрольные вопросы.**

1. Как определить степень увлажнения изоляции?
2. Какие факторы влияют на сопротивление изоляции?
3. Какие способы сушки Вы знаете?
4. Для чего необходимо контролировать температуру при сушке?
5. Как осуществляется контроль температуры обмоток при сушке их с помощью универсального стенда?

#### **Литература.**

1. Прищеп Л.Г. Устройство, эксплуатация и защита силовых электроустановок.- М.: Колос. 1971.

## **Лабораторная работа № 4.**

### **СУШКА ТРАНСФОРМАТОРА ПОТЕРЯМИ В СОБСТВЕННОМ БАКЕ**

**Цель работы:** Изучить сушку изоляции трансформатора и получить необходимые теоретические навыки.

**Программа работы:**

1. Изучить способ сушки выемной части трансформатора потерями в собственном баке.
2. Для имеющегося бака рассчитать однофазную и трехфазную намагничивающую обмотку.
3. Собрать схему, провести опыт сушки, сравнить расчетные данные с опытными.

**Общие сведения.**

Материалы, применяемые для изоляции трансформаторов не являются идеальными диэлектриками и меняют свое сопротивление в процессе эксплуатации как при механических повреждениях и загрязнении поверхности, так и при изменении температуры и увлажнении. Вследствие гигроскопичности изоляции происходит ее увлажнение за счет поглощения влаги из окружающей среды. В трансформаторах увлажнение изоляции происходит так же за счет окислительных процессов, проходящих в масле. Увеличение влажности изоляции приводит к резкому уменьшению сопротивления и электрической прочности изоляции. Повышенная увлажненность изоляции может привести к выходу из строя электрических аппаратов.

Для сушки изоляции трансформаторов существует ряд способов. Наиболее распространенными способами сушки трансформаторов является: метод потерь в собственном баке.

В настоящее время в эксплуатации этот метод получил широкое распространение, т. к. позволяет осуществить процесс сушки на месте установки или ремонта трансформатора без его транспортировки.

Сушку можно проводить как без вакуума, так и с вакуумом допускаемым конструкцией бака. Сушка с вакуумом получается более эффективной и глубокой. Сушка выемной части трансформатора этим методом производится в собственном баке. Масло из баков удаляется, и бак вытирают насухо. На обмотках и сердечниках устанавливают приборы для контроля за температурой нагрева. Могут использовать термометры, термопары или термодетекторы.

Выемную часть опускают в бак и закрывают крышкой. На бак трансформатора наматывается специальная намагничивающая обмотка. При подаче на эту обмотку переменного тока создается переменный магнитный поток. За счет переменного магнитного потока в баке возникают вихревые токи, которые и нагревают бак. Тепло, выделяющееся в баке трансформатора нагревает изоляцию выемной части и сушит ее.

Намагничивающаяся обмотка может быть однофазной (рис.1) или трехфазной (рис.2).

Трехфазная обмотка сложнее и применяется при относительно малой мощности источника питания, так как она практически, не вызывает ни симметрии токов и искажений фазовых напряжений питающей сети.

Для уменьшения потерь тепла в окружающее пространство применяется утепление бака двумя слоями асбестовых листов толщиной 4 - 5 мм, закрепляемых шпагатом или лентой (применение проволоки не рекомендуется). Утепление может производиться также листами стеклоткани.

Если трансформатор снабжен съемными радиаторами, их снимают. У трансформаторов с трубчатыми или ребристыми баками намагничивающая обмотка наматывается по большой поверхности поверх труб или ребер.

При отсутствии теплоизоляции намагничивающую обмотку наматывают на деревянные рейки толщиной 1-2 см, установленные на баке. Если бак утеплен, то намагничивающую обмотку наматывают непосредственно на теплоизоляцию.

Для получения более равномерного распределения температуры по высоте бака намагничивающая обмотка наматывается на 50-70% высоты бака (снизу). Витки в нижней части расползаются более полней, чем в верхней.

Недостатками этого метода являются: необходимость выполнения намагничивающей обмотки; наличие внешнего источника тепла. Это приводит к неблагоприятному направлению теплового потока внутри изоляции, а следовательно и к некоторому замедлению процесса сушки.

### Расчет намагничивающей обмотки

#### 1. Однофазная обмотка.

Число витков намагничивающей обмотки:

$$W = \frac{U * 10^6}{4,44 f * B_m a L} = \frac{UA}{L}$$

где U - напряжение источника питания, В;

f - частота, Гц;

$B_m$  – амплитудное значение индукции в баке гаусс;

a - глубина проникновения магнитного потока в стенке бака, см;

L - периметр бака, м.

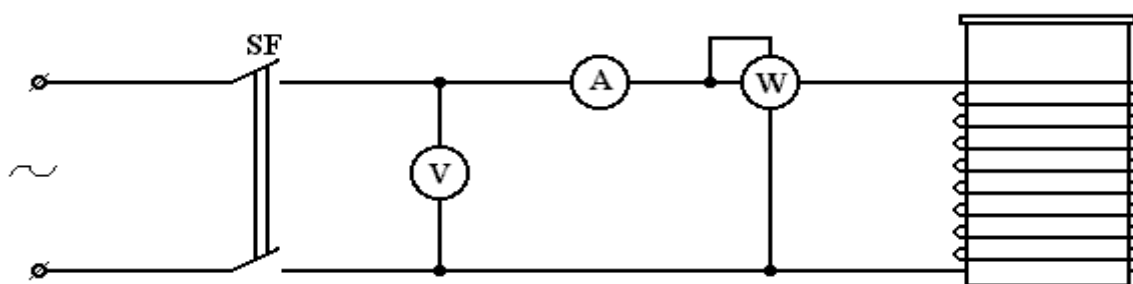


Рис. 1. Схема сушки трансформатора потерями в баке (однофазная намагничивающая обмотка).

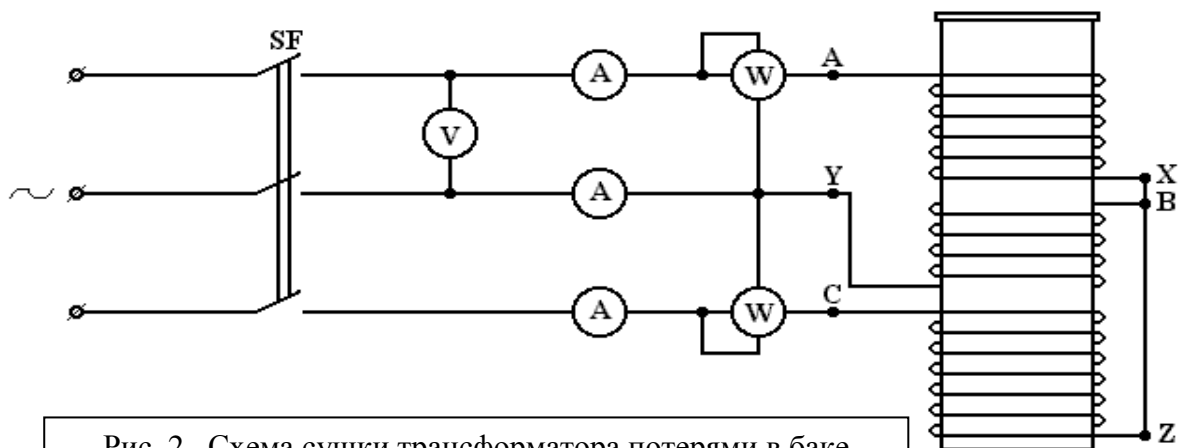


Рис. 2. Схема сушки трансформатора потерями в баке (трехфазная намагничивающая обмотка).

Величина:  $A = \frac{10^6}{4,44 f B_m a}$  зависит от удельных потерь (табл. 1), которые необходимы для получения требуемого режима в процессе сушки.

Таблица I.

$\Delta P$ кВт/м <sup>2</sup>	A	$\Delta P$ кВт/м <sup>2</sup>	A	$\Delta P$ кВт/м <sup>2</sup>	A
0,8	2,26	1,6	1,65	2,6	1,41
1,0	2,02	1,8	1,59	2,8	1,38
1,1	1,92	2,0	1,54	3,0	1,34
1,2	1,84	2,2	1,49	3,5	1,28
1,4	1,74	2,4	1,44	4,0	1,22

При установившемся топливном режиме, мощность, выделяемая в баке, равна мощности, отдаваемой баком в окружающую среду посредством лучеиспускания и конвекции. Это дает возможность определить искомую величину удельных потерь



$$\Delta P = \frac{kF}{F_0} (t_{\text{БАКА}} - t_{\text{ОКР}}), \quad \text{кВт/м}^2$$

где  $K$  – коэффициент теплоотдачи бака;

$K = 12 \cdot 10^{-3} \text{ кВт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  – для неутепленного бака;

$K = 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ кВт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  – для утепленного бака;

$F$  – полная поверхность охлаждения бака,  $\text{м}^2$ ;

$F_0$  – поверхность бака, на которой размещена намагничивающая обмотка,  $\text{м}^2$ ;

$t_{\text{бака}}$  – конечная температура нагрева бака,  $^\circ\text{C}$ . Обычно

$$t_{\text{бака}} = 105 - 115 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$t_{\text{окр}}$  – температура окружающей среды,  $^\circ\text{C}$ .

Полная поверхность охлаждения бака находится по его геометрическим размерам, а  $F_0$  по высоте  $h_0$ , занимаемой намагничивающей обмоткой, и по периметру бака  $L$ .

$$F_0 = L * h_0, \text{ м}^2$$

На практике отношение  $\frac{F}{F_0} = 1,25 - 2,0$

Зная величину удельной мощности  $\Delta P$  и площадь  $F_0$  можно найти полную мощность, потребляемую в процессе сушки:

$$P = \Delta P * F_0, \text{ кВт}$$

Ток в намагничивающей обмотке находится из соотношения (ток для сушки):

$$I = \frac{P * 10^3}{U \cos \phi}$$

На основании опытных данных  $\cos \phi = 0,4 - 0,7$ . Меньшее значение относится к малым трансформаторам, имеющим небольшую толщину бака, а большие значения – к трансформаторам с толстостенными баками и с массивными деталями наружного крепежа.

Сечение провода для намагничивающей обмотки определяется по допустимой плотности тока  $\Delta = 2 - 4 \text{ А/мм}^2$ .

При расчёте однофазной намагничивающей обмотки для трансформатора, имеющегося в лаборатории, принять  $U = 34 \text{ В}$ .

На основании расчётных данных выбрать измерительные приборы, собрать схему и включить на сушку. Расчётные данные сравнить с показаниями приборов и записать в таблицу.

## 2. Трёхфазная обмотка.

Выполнение и расчёт трёхфазной обмотки имеют определенные особенности, вытекающие из необходимости создания равномерного распределения магнитной индукции по высоте стенки и получения взаимно большей симметрии токов в отдельных фазах. Для этого средняя фаза намагничивающей обмотки включается встречно относительно крайних фаз, а число её витков берётся равным 40-60 % от числа витков любой из крайних фаз.

При таком выполнении трёхфазной намагничивающей обмотки нулевая точка фазных напряжений сдвигается так, что на крайних фазах напряжение увеличивается примерно до 1,3 фазового, а на средней – уменьшается до 0,5 фазового.

Тогда необходимо число витков в каждой из крайних обмоток (фазах) будет:

$$W_1 = W_3 = \frac{1,3U_{\phi}A}{L}$$

а в средней обмотке:

$$W_2 = \frac{0,5U_{\phi}A}{D}$$

где  $U_{\phi}$  – фазовое напряжение источника питания.

Методика определения величин  $\Delta P$  и  $P$  аналогично их определению при расчёте однофазной обмотки. Токи в фазах намагничивающей обмотки будут:

$$I = \frac{P * 10^3}{mU_{\phi} \cos \phi}$$

где  $m$  – число фаз.

### Контроль при сушке.

Одним из наиболее ответственных моментов при сушке электрических машин и трансформаторов является выбор температуры сушки. Чем выше температура сушки, тем быстрее удаляется влага из обмоток и сокращается время сушки. Однако температура сушки для каждого класса изоляции ограничивается ее нагревостойкостью во избежание ускоренного старения. Ориентировочно считают, что с увеличением температуры сушки на 8-10°, выше предельной температуры, скорость старения изоляции увеличивается вдвое. Допустимая температура сушки должна строго соответствовать классу изоляции и ориентировочно может быть принята по таблице:

Таблица 1.3

Класс изоляции	Отопительная температура сушки		Максимально допустимая температура сушки °С
	При атмосферном давлении	В вакууме	
А	110 – 120	80 – 90	130
В	130 – 140	120 – 130	150
Г	140 – 160	-	180
Д	175 – 185	-	200
Е	180 - 130	90 - 110	140

При сушке необходимо периодически, через каждый час, измерять напряжение, мощность, ток сушки, сопротивление изоляции между обмотками и корпусом, температуру обмоток в активной стали.

Сопротивление изоляции измеряется мегомметром на 1000 В или 2500 В. Температуру и сопротивление измеряют при отключенной от сети схемы сушки.

Длительность режима сушки зависит от химического состава физических свойств изоляционных материалов, конструкции изоляции обмоток, степени их увлажнения, температуры сушки и т.д. Практически сушку можно прекращать,

если сопротивление изоляции обмоток в горячем состоянии будет составлять несколько десятков мегаом и при длительной сушке не будет увеличиваться. Сопротивление изоляции не должно быть ниже заводских измерений (при той же температуре нагрева) более чем на 30%.

#### **Указания к выполнению работы:**

1. По результатам опыта рассчитать параметры сушки,  $W$ ,  $I_{\text{сушки}}$ ,  $P_{\text{сушки}}$  и сравнить их с опытными данными.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Какие факторы влияют на сопротивление изоляции?
2. Какие способы сушки Вы знаете?
3. Как проводится сушка трансформатора методом потерь в собственном баке?  
Преимущества и недостатки этого способа сушки.
4. Как выбирают температуру сушки?
5. Для чего необходимо контролировать температуру при сушке?
6. Когда заканчивается сушка изоляции?

#### **Литература**

1. Пястолов А.А. Практикум по монтажу, эксплуатации и ремонту электрооборудования. - М.: Колос, 1976.

## **ИЗУЧЕНИЕ СТЕНДОВ ДЛЯ СБОРКИ И НАСТРОЙКИ ПУСКОЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ**

**Цель работы:** Изучить назначение, краткие технические данные, устройство и принцип работы стендов 70-7980-2203УЗ и МИИСП. Получить навыки работы по настройке пускозащитной аппаратуры.

### **КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

#### **Назначение стенда.**

Стенд для сборки и настройки пускозащитной аппаратуры предназначен для настройки:

- магнитных пускателей типа ПМЛ, ПМА; реле типа РП, РПУ, РПЛ на номинальное напряжение включения и отключения, а также на время срабатывания;
- тепловых реле типа РТЛ, ТРН, РТТ силой тока до 100А на время срабатывания, несрабатывания и возврата;
- реле времени РВП на диапазон выдержки и приставок ПВЛ;
- калибровки плавких вставок однополюсных предохранителей напряжением до 1000В.

#### **Технические данные.**

Тип стенда стационарный. Напряжение питающей сети, В 220 (+22, -33). Максимальная мощность потребления энергии от сети при наибольшей нагрузке при изменении одного параметра, кВт, не более 2. Напряжение на клеммах источника дискретного напряжения переменного тока, В 12, 24, 42, 110, 220, 380. Регулируемое напряжение переменного тока на клеммах, В 0...380. Сила тока источника постоянного регулируемого тока, А 0...100. Напряжение на клеммах источника постоянного регулируемого напряжения при токе до 1А, В 0...220. Сила тока источника переменного регулируемого тока, А 0...50, (0...20), 0...100, 0...300.

### **Устройство и работа.**

Стенд – сборная конструкция, состоящая из электроблока и стола. В состав электроблока входит измеритель параметров реле цифровой Ф291. Электроблок конструктивно выполнен в виде короба с передней панелью, съемной задней частью (стенкой), с внутренней панелью трансформаторов и панелью клемм подключения испытуемого оборудования. Все элементы снабжены соответствующими инструкционными табличками.

Электроблок (рисунок 1) оборудован:

- ❖ - силовыми трансформаторами TV1...TV4;
- ❖ - регулировочным трансформатором TV5;
- ❖ - аппаратами управления S1...S9;
- ❖ - измерительными приборами PA1...PA4, PV1...PV3 и PT1;
- ❖ - клеммами подключения нагрузок x1...x16;
- ❖ - розетками xS2 и xS3 на напряжение 220В 50Гц и розеткой xS1 на напряжение 24В, выпрямительными диодами V1 и V2.

Защита от коротких замыканий осуществляется предохранителями F1...F5.

В первичной цепи, которая включается в сеть 220В с помощью автоматического выключателя QF1, расположенного на правой боковой стенке стенда, установлен автотрансформатор TV5.

Вторичная цепь включает в себя ряд источников постоянного и переменного тока и напряжения постоянного и переменного тока.

### **Источник дискретного напряжения переменного тока.**


Включает тумблер S1, предохранитель F1 “3А”, трансформатор TV1, переключатель S8, выходные клеммы x1, x2 (~12...380V).

Первичная обмотка трансформатора TV1 подключается к сети 220В.

Получение дискретных напряжений переменного тока на клеммах x1 и x2 (~12...380V) производится выбором соответствующего отвода вторичной обмотки трансформатора переключателем S8.

Клеммы  $x_1$ ,  $x_2$  и предохранитель F1 “3A”, тумблер S1 расположены соответственно ниже и выше инструкционной таблички “~12...380V”.

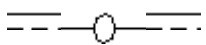
#### **Источник переменного регулируемого тока.**

 Состоит из тумблера S2, предохранителя F4 “5A”, трансформатора TV2, трансформаторов TA1...TA3, переключателя S9 [~5A; (~50 (20)A, 100A); ~300A], амперметра PA1 “~0...5A”, выходных клемм  $x_{12}$  “\*”, а также  $x_3$  “~5A”,  $x_{13}$  “~300A”,  $x_{15}$  “~100A”,  $x_{16}$  “~50A (20A)”.

Измерение нагрузочного тока производится амперметром PA1 “~0...5A”.  
Расширение пределов показаний до 300A дискретно – осуществляется с помощью трансформаторов TA1...TA3. выбор предела измерения амперметра PA1 производится переключателем S9.

Ток нагрузки на клеммах  $x_{12}$ ,  $x_3$ ,  $x_{13}$ ,  $x_{15}$ ,  $x_{16}$  плавно регулируется изменением напряжения на первичной обмотке нагрузочного трансформатора TV2 с помощью регулируемого трансформатора TV5.

#### **Источник постоянного регулируемого тока.**

В состав источника входят тумблер S2, предохранитель F4 “5A”, трансформатор TV2, двухполупериодный выпрямитель на диодах  V1, V2, амперметр PA3 “0...100A” с шунтом RS1, клеммы  $x_{12}$  “\*” и  $x_{14}$  “100A”.

Измерение нагрузочного тока производится амперметром PA3 через шунт RS1.

Плавно ток нагрузки регулируется изменением напряжения на первичной обмотке нагрузочного трансформатора TV2 с помощью регулируемого автотрансформатора TV5.

#### **Источник напряжения переменного тока.**

Состоит из тумблера S4, предохранителя F2 “2A”, трансформатора TV3, амперметра PA2 “~0...1A”, вольтметров PV1 “(~0...10)x10V”, PV2 “(~0...5)x100V”, тумблера S3 (~0...380V, ~0...100V), клемм  $x_4$ ,  $x_5$  (~0...380V).

Регулируемый трансформатор TV5 изменяет напряжение переменного тока и ток нагрузки на выходных клеммах  $x_4$ ,  $x_5$ .

Измерение напряжения переменного тока производится вольтметром PV1 (напряжение до 100В) и вольтметром PV2 (напряжение до 380В). Выбор вольтметра производится тумблером S3. Величина переменного тока измеряется амперметром PA2.

Клеммы x4, x5 и предохранитель F2 “2А”, тумблер S4, амперметр PA2 (~0...1А), вольтметр PV2 (~100...380V) расположены соответственно ниже и выше инструкционной таблички “~0...380V”, а вольтметр PV1 (~0...100V) – правее тумблера S3 (~0...380V)(~0...100V).

### **Пульсатор.**

Используется при настройке реле. Включает предохранитель F5 “1А”, тумблер S6, двухполупериодный выпрямитель  $U_2$ , собранный по мостовой схеме, реле K1, конденсатор C, клеммы x8, x9.

Пульсатор выполнен по схеме параллельного подключения емкости C к обмотке реле K1 и последовательно включенного активного сопротивления R2.

### **Миллисекундомер.**

Миллисекундомер PT1 включается тумблером S7 и используется для измерения времени срабатывания проверяемых аппаратов.

## **ОБОРУДОВАНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА**

На рабочем месте находятся:

- ✓ - стенд 70-7980-2203У3;
- ✓ - прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353;
- ✓ - трансформатор тока И515М/1;
- ✓ - амперметр Э8021 (Э8022);
- ✓ - комплект соединительных проводов.

## **ПРОГРАММА РАБОТЫ**

1. Изучить научно-техническую документацию по устройству и техническим возможностям стендов.
2. Выполнить работу в соответствии с порядком выполнения работы.



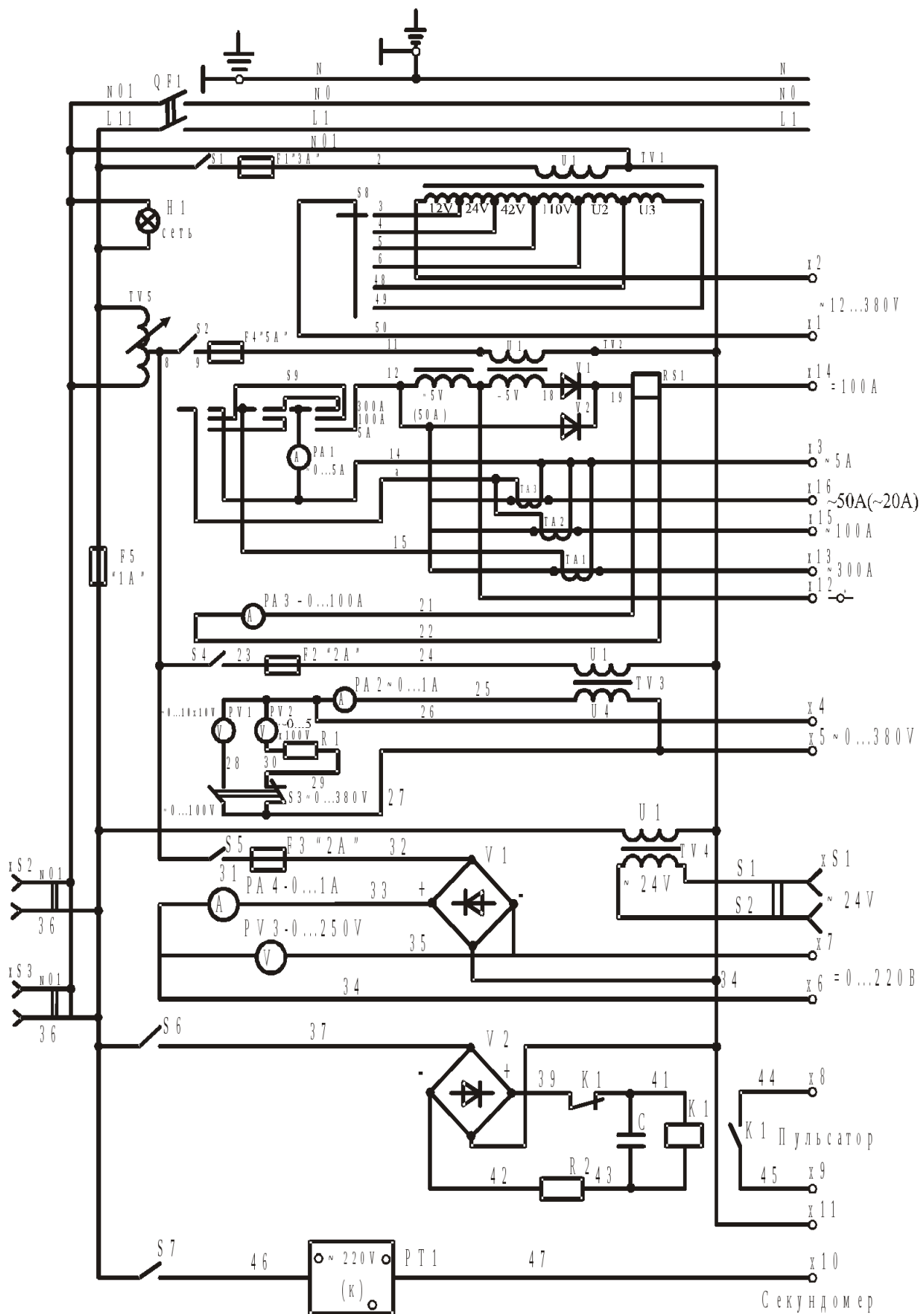


Рисунок 1. Схема электрическая принципиальная.

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.**

### **Исследование источника дискретного напряжения переменного тока.**

Вычертить схему источника дискретного напряжения переменного тока. Включить автоматический выключатель QF1, расположенный на правой боковой стенке стенда. При этом загорится лампочка “СЕТЬ”.

Подготовить прибор Ц4353 для измерения напряжения переменного тока (Приложение 1).

Включить тумблер S1.

Изменяя положение переключателя S8, установить последовательно на выходных клеммах x1 и x2 значения напряжения, указанные в таблице 1, одновременно измеряя эти значения на выходных клеммах “~12...380V” прибором Ц4353. Результаты измерений занести в таблицу 1. Выключить тумблер S1.

Рассчитать относительную погрешность установки выходного напряжения источника:

$$\delta_v = \frac{U_{x.вых.} - U_d}{U_d} \cdot 100\%,$$

где  $U_{x.вых.}$  – значение напряжения, установленное переключателем S8,

$U_d$  – показания прибора Ц4353.

Таблица 1 – Результаты измерения напряжения источника и расчета относительной погрешности

Установлено, $U_{x.вых.}$ , В	12	24	42	110	220	380
Измерено, $U_d$ , В						
Погрешность, $\delta_v$ , %						

### **Исследование источника напряжения переменного тока.**

Вычертить схему источника напряжения переменного тока. Подготовить таблицу 2.

Поставить тумблер S3 в положение “~0...100V”. Убедиться, что рукоятка автотрансформатора TV5 находится в крайнем левом положении.

Включить тумблер S4.

Рукояткой автотрансформатора TV5 установить на выходных клеммах x4 и x5 по прибору PV1 (~0...10)x10V последовательно значения напряжения,

указанные в таблице 2 до 100В включительно, одновременно измеряя эти значения на выходных клеммах “~0...380V” прибором Ц4353. Результаты измерений занести в таблицу 2.

Переключить тумблер в положение “~0...380V”.

Рукояткой автотрансформатора TV5 по прибору PV2 (~0...5)x100V продолжить установку значений напряжения, согласно таблице, контролируя их прибором Ц4353. Результаты измерений занести в таблицу 2.

Вывести рукоятку автотрансформатора в исходное положение и выключить тумблер S4.

Вычислить относительную погрешность установки выходного напряжения

Таблица 2 - Результаты измерения напряжения источника и расчета относительной погрешности

Установлено,  $U_{X.VЫX.}$ , В      30    40    60    80    100    150    200    300    400

Измерено,  $U_d$ , В

Погрешность,  $\delta_v$ , %

### **Исследование источника напряжения постоянного тока.**

Вычертить схему источника. Подготовить таблицу 3. Подготовить прибор Ц4353 для измерения постоянного тока (Приложение 1).

Включить тумблер S5. Рукояткой автотрансформатора TV5 по прибору PV3 (0...250V) установить на выходных клеммах х6, х7 последовательно значения напряжения, указанные в таблице 3, контролируя их прибором Ц4353. Результаты измерений занести в таблицу 3.

Вывести рукоятку автотрансформатора в исходное положение и выключить тумблер S5.

Вычислить относительную погрешность установки выходного напряжения источника.

Таблица 3 - Результаты измерения напряжения источника и расчета относительной погрешности

Установлено,  $U_{X.VЫX.}$ , В                      50            100            150            200            220

Измерено,  $U_d$ , В

Погрешность,  $\delta_v$ , %

### **Исследование источника переменного регулируемого тока.**

Вычертить схему источника. Подготовить таблицу 4.

#### **1. Источник тока ~0...5A.**

Вычертить и собрать схему измерения (рисунок 2).

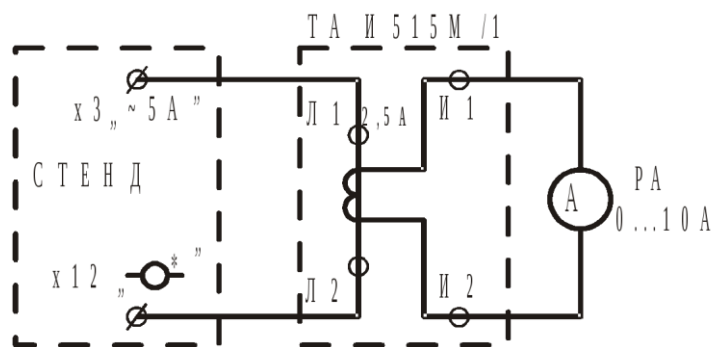


Рисунок 2. Схема исследования источника “~5А”.

Переключатель S9 “[~5А; (~50 (20)А, 100А); ~300А]”, установить в положение “~5А”. Включить тумблер S2. Рукояткой автотрансформатора TV5 по прибору PA1 (~0...5А) установить последовательно в цепи (выходные клеммы x3 и x12) значения тока, указанные в таблице 4.

Произвести измерение величины тока внешним амперметром PA “0...10А” и занести результаты измерений в таблицу 4.

Вывести рукоятку автотрансформатора в исходное положение и выключить тумблер S2.

Вычислить абсолютную погрешность установки тока в цепи:

$$\Delta I = I_X - I_D,$$

где  $I_X$  – значения тока, установленные по прибору PA1 (~0...5А);

$I_D$  – значения тока, измеренные внешним амперметром PA (0...10А).

Таблица 4 - Результаты измерения величины тока и расчета абсолютной погрешности

Установлено, $I_X$ , А	1,5	2	3	4
------------------------	-----	---	---	---

Измерено, $I_D$ , А				
---------------------	--	--	--	--

Погрешность, $\Delta I$ , А				
-----------------------------	--	--	--	--

## 2. Источник тока ~0...100А.

Собрать схему измерения (рисунок 3).

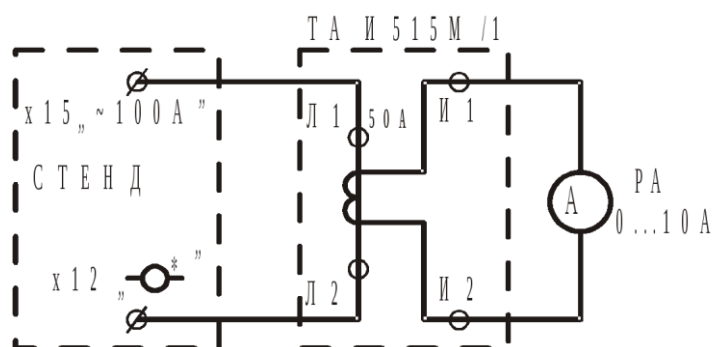


Рисунок 3. Схема исследования источника “~100А”.

Переключатель S9 “[~5А; (~50 (20)А, 100А); ~300А]”, установить в положение “~100А”. Включить тумблер S2. Рукояткой автотрансформатора TV5 по прибору PA1 (~0...5А) установить последовательно в цепи значения тока, указанные в таблице 5.

Вывести рукоятку автотрансформатора в исходное положение и выключить тумблер S2.

Вычислить абсолютную и относительную погрешности установки тока в цепи. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 5.

Таблица 5. Результаты измерения величины тока и расчета абсолютной относительной и погрешности.

Установлено, $I_x$ , А	30	40	60	80	100
Измерено, $I_d$ , А					
Погрешность, $\Delta I$ , А					
Погрешность, $\delta I$ , %					

### ОСОБЕННОСТИ СТЕНДА МИИСП.

По сравнению со стендом 70-7980-2203У3 стенд МИИСП дополнительно позволяет осуществлять сушку обмоток электродвигателей постоянным током, проверять контакты низковольтных аппаратов, определять фазировку обмоток электродвигателей, заряжать аккумуляторы.

### Принцип сушки обмоток электродвигателей.

Сушке подлежат двигатели, долгое время не эксплуатировавшиеся; продолжительное время находившиеся при относительной влажности окружающего воздуха свыше 85%; сопротивление изоляции которых в холодном состоянии менее 4 МОм.

Сушка обмоток на стенде осуществляется постоянным током мостовым методом.

Принцип сушки заключается в следующем (рисунок 4): к одной диагонали моста подводится напряжение постоянного тока, во вторую диагональ включается измерительный прибор, а обмотка электродвигателя, подлежащего сушке, включается в одно из плеч моста. Измерительный прибор контролирует температуру обмотки по изменению ее сопротивления.

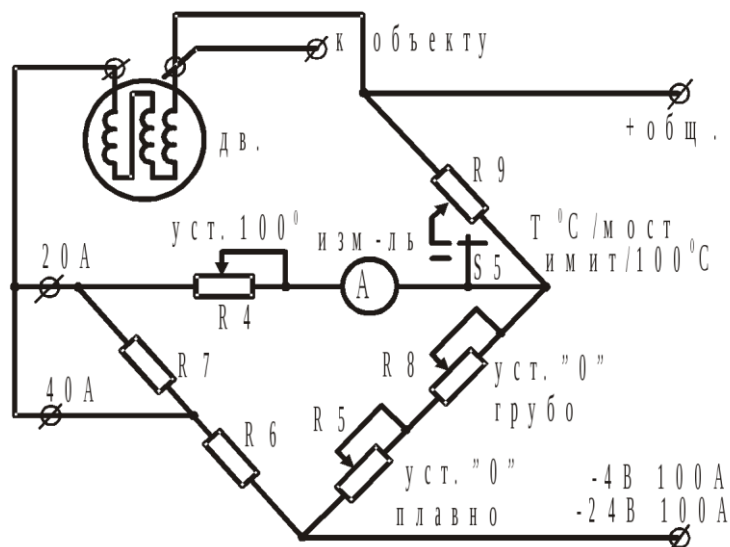


Рисунок 4 – Схема моста стенда для контроля температуры обмотки при сушке.

Схема контроля работает следующим образом.

Резисторы R6 и R7, R5 и R8, R9 и сопротивление обмотки просушиваемого электродвигателя составляют мостовую схему.

В начале сушки в положении “Т °С/МОСТ” переключателя S5 автотрансформатором устанавливается ток в цепи обмотки статора. Величина тока выбирается из условия достижения необходимой температуры обмоток и зависит от температуры окружающей среды, исполнения и мощности электродвигателя. Ток сушки следует выбирать в пределах 0,4...0,7 от номинального тока двигателя ( $I_{н.дв.}$ ).

Резисторами R5 и R8 “Плавно УСТ.0”, “Грубо УСТ.0” стрелка измерительного прибора устанавливается на нуль шкалы.

Переключатель S5 устанавливается в положение “ИМИТ/100 °С”, а резистором R4 “УСТ. 100 °С” устанавливают стрелку измерителя на конечное значение шкалы (100 °С). После этого переключатель S5 переводят в положение “Т °С/МОСТ” и ведут контроль температуры обмотки электродвигателя в процессе его сушки.

Температура обмотки равна температуре окружающей среды плюс показания прибора, проградуированного в градусах.

Время, необходимое для сушки обмоток, обычно не более 7 часов. Сушка производится до тех пор, пока сопротивление изоляции обмоток в горячем состоянии при температуре около +75 °С не достигнет нескольких десятков МОм и при дальнейшей сушке не будет увеличиваться.

## **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.**

1. Наименование лабораторной работы и ее цель.
2. Назначение, технические характеристики, состав стенда 70-7980-2203УЗ. Особенности стенда МИИСП.
3. Отчет по каждому пункту работы, включающий:
  - наименование пункта;
  - схема исследования (измерения);
  - таблица с результатами измерений, расчетов; расчеты.
4. Краткие выводы по проделанной работе.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.**

1. Назначение стенда 70-7980-2203УЗ.
2. Устройство и работа стенда 70-7980-2203УЗ.
3. Особенности стенда МИИСП.
4. Принцип сушки обмоток электродвигателей.
5. Прибор электроизмерительный комбинированный Ц-4353.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 1.**

### **Прибор электроизмерительный комбинированный Ц-4353.**



#### **1. Указания по мерам безопасности.**

При измерениях в цепях с напряжением свыше 36В рекомендуется включать и отключать прибор при выключенном напряжении в исследуемой цепи.

Недопустимо переключение прибора с одного вида измерения на другой, а также переключение диапазонов измерения без отключения от исследуемой схемы.

#### **2. Работа с прибором.**

Перед измерением установить прибор в горизонтальное положение, а стрелку прибора корректором установить на отметку механического нуля.

Включить автоматическую защиту нажатием на кнопку  “или убедиться, что она включена. Проконтролировать работоспособность устройства защиты – при нажатии на кнопку  ” должно сработать устройство защиты, после чего повторно включить автоматическую защиту.

Включить одну из кнопок переключателя рода работы “-“ или “~” в зависимости от вида измеряемой величины.

Установить переключатель пределов измерений в положение, соответствующее предполагаемому значению измеряемой величины. Если эта величина неизвестна, первоначально следует установить наибольший предел.

Подключить к исследуемому объекту и произвести отсчет результата измерения по соответствующей шкале отсчетного устройства (верхняя шкала

“~” – для измерения напряжения переменного тока, вторая сверху “-“ – напряжения постоянного тока).

**ВНИМАНИЕ!** Для уменьшения относительной погрешности измерения следует выбирать такой предел измерения, чтобы стрелка измерительного механизма находилась в правой части шкалы.

Расчет цены деления производится по выражению

$$c = U_{\text{пр}}/N,$$

где  $U_{\text{пр}}$  – выбранный предел измерения,

$N$  – число делений шкалы.

### **ЛИТЕРАТУРА.**

1. Хорольский В.Я. Эксплуатация электрооборудования сельскохозяйственных предприятий. – Ставрополь, 1996. – 320с., 58 ил. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).
2. Пястолов А.А., Ерошенко Г.П. Эксплуатация электрооборудования. – М.: ВО Агропромиздат, 1990.



## **Лабораторная работа № 6.**

# **ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ И НАСТРОЙКА ЕГО С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНОГО СТЕНДА**

### **Цель работы:**

Изучить устройство с помощью универсального стенда конструкции МИИСП, автоматических выключателей и освоить их настройку.

### **Программа работы:**

1. Изучить электрическую схему стенда.
2. Ознакомиться с устройством и принципом действия автоматов.
3. Провести технический уход и текущий ремонт автомата и снять его защитную характеристику.
4. Настроить защиту электродвигателя.

### **Общие сведения.**

Электродвигатель, рассчитанный на нормальный режим работы, в процессе эксплуатации может оказаться по какой-либо причине перегруженным. В одних случаях это увеличение нагрузки рабочей машины, в других случаях заклинивание рабочих органов и т.д. В первом случае ток превышает номинальную величину, что приводит к перегреву обмотки, а при длительном действии к сгоранию. Во втором случае величина момента сопротивления становится больше максимального значения момента двигателя, и он останавливается. По обмоткам двигателя протекает ток, в несколько раз превышающий номинальный. Температура обмоток уже в течение нескольких секунд может достигнуть критической. Кроме того, могут возникнуть короткие замыкания, как в самом двигателе, так и в аппаратуре управления и в питающей сети. Чтобы случайные перегрузки и короткие замыкания не выводили из строя всю установку, требуется защитное устройство для своевременного отключения от источника питания.

В установках низкого напряжения для этой цели служат плавкие предохранители, тепловые реле и автоматические выключатели.

Наиболее совершенным аппаратом защиты электродвигателей является автоматический выключатель (автомат).

Автоматический выключатель - это аппарат, предназначенный для нечастых включений и отключений электрической цепи при нормальной нагрузке, а также для автоматического отключения при возникновении ненормальных режимов - перегрузки, коротких замыканий. Автомат позволяет замыкать собой неавтоматический выключатель и предохранители, и имеют перед ними ряд преимуществ: при перегрузках или коротких замыканиях отключает сразу три фазы; снижает простои при восстановлении схемы после аварии; имеет более благоприятные защитные характеристики.

В настоящее время используют следующие типы автоматов: АЕ-2000, АЕ-1000, А63, АБ-25, АП-50, АП50Б, АК-50, А3100, А3700. Автоматы всех серий имеют общие основные узлы: корпус, контактную систему, дугогасительную камеру, механизм управления и расцепители (тепловоз, электромагнитный, минимального напряжения и др.), на рис.1 приведена структурная схема автоматических выключателей, а на рис.2. - конструктивная схема.

Тепловой расцепитель автомата состоит из биметаллической пластины с нагревателем и реагирует на незначительное токи перегрузки, так как при этом увеличивается выделение тепла

$$Q = I_{\text{раб}}^2 * R_H * t$$

где  $I_{\text{раб}}$  – рабочий ток;

$R_H$  – сопротивления нагревателя;

$t$  - время прохождения тока;

Электромагнитный расцепитель представляет собой катушку с сердечником. При возникновении большой перегрузки, в 5 - 6 раз превышающей номинальный ток, катушка, преодолев сопротивление

противодействующей пружины, затягивает сердечник, который снимает защелку и освобождает отключающую пружину.

Таким образом, автоматический выключатель защищает двигатель от длительной перегрузки и отключает сеть при коротких замыканиях.

При выборе автоматов определяют тип, исполнение, номинальный ток и номинальное напряжение, а также токи срабатывания расцепителей. При этом используются следующие соотношения.

$$U_{н.а} \geq U_{сети} \quad (1)$$

$$I_{н.а} \geq I_{раб.макс} \quad (2)$$

$$I_{н.расц} \geq I_{раб.макс} \quad (3)$$

$$I_{уст.т.р} \geq I_{раб.макс} \quad (4)$$

$$I_{уст.эм} \geq 1,5 I_{пуск} \quad (5)$$

**1** - номинальный ток выключателя: 1 - 10 А; 3 - 25 А; 4-63 А; 5 – 100 А.

**2** - обозначение по числу полюсов и типу расцепителя:

1; 2; 3; - одно-, - двух и трехполюсные с электромагнитным расцепителем;

4; 5; 6 - одно-, - двух и трехполюсные с комбинированным расцепителем;

7, 8, 9 - одно-, - двух- и трехполюсные неавтоматические (без расцепителей).

**3** - обозначение по наличию блок-контактов:

1 - без блок-контактов; .

2 - с одним замыкающим блок-контактом (13);

3 - с одним размыкающим блок-контактом (1Р);

4 - с одним замыкающим и одним размыкающим блок-контактами  
(13 + 1Р).

**4** - обозначение по наличию дополнительных расцепителей:

0 - без дополнительных расцепителей;

1 - с расцепителем минимального напряжения;

2 - с независимым расцепителем.

**5** - Н - регулирование тока установки тепловых расцепителей без температурной

компенсацией;

P - температурная компенсация и регулирование тока уставки тепловых расцепителей в пределах  $(0,0...1,15 I_n)$ .

При защите асинхронных двигателей автоматами следует учитывать, что даже при выборе тока расцепителя для автомата, равного номинальному току двигателя, при перегрузке двигателя на 45-50%, своевременное его отключение от сети может быть не обеспечено. Это связано с различием требований к защитным характеристикам двигателя и автоматов.

Так, согласно ГОСТ 183-66 электродвигатели переменного тока должны выдержать полуторакратную перегрузку по току в течение 2 минут, а автоматы серии А63, АП-50, АК63 при токе двигателя, равном  $1,35 \cdot I_{у.т.р.}$  по техническим условиям должны сработать в течение 30 мин., автоматы серии А3100 при токе, равном  $1,45 \cdot I_{у.т.р.}$  гарантировано должны сработать в течение часа. А если еще учесть, что из-за ступенчатости номинальных токов расцепителей приходится принимать  $I_{н.т.р.} \geq I_{раб}$  станет ясно, что простой выбор установки номинального расцепителя автомата не обеспечивает надежной защиты двигателя от перегрузки. Необходимо проводить настройку автомата в каждом конкретном случае.

Кроме того, по степени защиты от окружающей среды, наличию блок-контактов и т.д.

где  $U_{н.о.}$ ;  $I_{н.а.}$ ;  $I_{н.р.}$  - соответственно номинальные напряжения автоматического выключателя и номинальный ток автомата и расцепителя;

$I_{уст.т.р.}$ ;  $I_{уст.эм}$  - ток уставки теплового и электромагнитного расцепителей.

При эксплуатации автоматов без температурной компенсации при температуре ниже  $+35^\circ\text{C}$  необходимо учитывать поправочный коэффициент, который: приближенно может быть найден по выражению (6)

$$A=1+0.06(35-t_{окр.ср})$$

$$I_{у.т.р.} = \frac{I_{раб}}{\alpha} \quad (7)$$

В настоящее время наиболее широко используются автоматические выключатели серии АЕ 2000, обладающие хорошей коммутационной способностью, регулировкой тока срабатывания и широким диапазоном сменных нагревателей (0,32 + 100 А). Технические данные автоматических выключателей серии АЕ 2000 приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Номи- нальный ток выключа- теля, In.а., А	Номинальный ток теплового расцепителя, In.т.р., А
1	10	0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5 3,2; 4; 6; 8; 10
2	25	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25
3	63	10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
4	100	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100

Кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя ( $I/I_n$ )  
 $K_{отс} = 12$ .

Для правильного выбора и эксплуатации автоматического выключателя необходимо знать их условное маркирование.

Структура условного обозначения выключателя серии АЕ 2000

АЕ 20 1 2 – 3 4 5

АЕ - серия; 20 - порядковый номер разработки.

Настройка автоматов сводится к проверке фактических номинальных токов каждого из трех элементов установки винтов на биметаллических пластинах с соответствии с нужным током расцепителя, чтобы время срабатывания всех расцепителей при одном токе было одинаково. Настройку автоматов можно осуществить с помощью универсального стенда.

Стенд предназначен для выполнения операции по обследованию электрооборудования с сельскохозяйственных установках.

Стенд совмещает в себе аппарат для настройки на переменном и постоянном токе и аппарат для групповой сушки обмоток электрических машин с контролем температуры на основе мостовой схемы с имитацией нагрева (при настройке схемы) и регулировочной чувствительности моста.

Стенд позволяет проверять калибровку плавких вставок, проверять состояние контактных систем низковольтной аппаратуры, контактную и другую сварку одножильных и многожильных проводов, а также сварку заземляющих конструкций.

Таким образом, с его помощью осуществляется комплекс мероприятий по эксплуатации электросилового оборудования. Кроме того, стенд может использоваться для ремонта автотракторного оборудования стартерного пускателя автомобилей в зимнее время, зарядки аккумуляторов и т. д.

Схема (рис. 1) включает автотрансформатор, регулируемое выходное напряжение с которого может подаваться в зависимости от положения переключателя  $\Pi_1$  на первичную обмотку трансформатора ТР или на выходные клеммы. Напряжение и ток при этом контролируются по вольтметру  $U_3$  и амперметру  $A_2$ . Вторичные обмотки трансформатора рассчитаны на ток до 600 А при настройке защиты на переменном токе и контактной сварке, проводов, до 200 А на постоянном токе. Плавное регулирование этих токов до максимального значения осуществляется автотрансформатором. Отсчет времени при настройке защиты проводится по электросекундомеру ЭС, в цепь которого включается блок-контакты настраиваемого аппарата. Сам аппарат подключается к клеммам «Переменный ток 15, 50, 150, 600 А».

Для получения двухполупериодного выпрямленного тока, необходимого для сушки обмоток электрических машин с контролем температуры, дуговой сварки, проверки контактных систем служат два мощных кремниевых диода  $V_1$  и  $V_2$ .

Измерение выпрямленного тока и напряжения производится с помощью милливольтметра  $mV$ , шунта, добавочного сопротивления  $R_3$  и переключателя  $П_3$ . При сушке обмоток электрических машин милливольтметр, включенный в мостовую схему, служит указателем температуры.

### **Эксплуатация автоматов.**

Техническая эксплуатация включает в себя:

1. Технические уходы (осмотры).
2. Текущие ремонты.

### **Объем работ при техническом уходе.**

Очистить аппарат от пыли и грязи. Удалить копоть и масляные пятна обтирочным материалом, смоченным бензином. Осматривают дугогасительные камеры. Брызги металла на дугогасительных решётках удаляют надфилем. Осматривают подвижные и неподвижные контакты и измеряют толщину контактных накладок. Если толщина накладок менее 0,5 мм, автомат подлежит ремонту.

При отключенном напряжении несколько раз включают и отключают автомат. Включение должно быть мгновенным и независимым от скорости движения рукоятки или кнопок. Шарнирные соединения автоматов смазывают маслом для приборов МВП (ГОСТ 1805-51). Смазку проводят после 2-3 тыс. включений, но не реже одного раза в год. У автоматов проверяют провалы контактов, которые должны быть не менее 0,5 мм. Мегомметром на 500 В при включенном положении автомата проверяют сопротивление изоляции между полюсами, между зажимами и металлической конструкцией, на которой он закреплен, а в разомкнутом положении – между верхними и нижними зажимами. Сопротивление изоляции при холодном состоянии автоматов должно быть не менее 10 МОм, а автоматов серии АП-50 – не менее 20 МОм.

Технические уходы автоматов проводят одновременно с техническими уходами основного электрооборудования и после половины допустимых аварийных отключений.

### **Объём работ при текущем ремонте.**

Текущий ремонт автомата проводят одновременно с текущим ремонтом основного количества аварийных отключений. В объём работ при текущем ремонте входят работы, проводимые при техническом уходе. Кроме того, необходимо проверить механизм свободного расцепления, тепловой расцепитель, электромагнитный расцепитель. Текущий ремонт автоматов проводится в мастерской по обслуживанию электрооборудования.

После окончания ремонта автомат собирают и проводят выпускные испытания:

1. Проверить одновременность замыкания силовых контактов, чтобы исключить работу токоприёмников на двух фазах (рис. 2).
2. Проверить качество контактов (плотность прилегания, усилие, нажатия).

Плотность прилегания контактов проверяется по величине падения напряжения на контактах (для АП-5С-эта величина не должна превышать 110 мВ).

Через главные контакты пропускают постоянный ток не менее 0,25 - 0,251 у.т.р., но не более 0,81 у.т.р., чтобы автомат не сработал. Милливольтметр от стенда подсоединяют непосредственно к контактам и замеряют, а затем пересчитывают при номинальном токе по выражению.

### **Порядок выполнения работы.**

I. Ознакомиться с устройством и принципом действия автоматов и стенда МИИСП.

2. По заданию руководителя занятий провести технический уход и текущий ремонт автомата.

Данные занести в таблицу 2.



Таблица 2.

№ п/п	Тип двигателя	Заводской номер	$\Delta U$	$\Delta U_{\text{л}}$	Нажатие главных контактов	Замыкание контактов	Примечание

3. Снять защитную характеристику автомата, указанного преподавателем, с холодного и горячего состояний (когда расцепитель прогреется номинальным током).

Данные занести в таблицу 3.

Таблица 3.

Тип Автомата	Номинальный ток теплового расцепителя	Состояние нагревателя	Ток уставки, А	Ток нагрузки, А	Время отключения, сек

4. Построить защитные характеристики автомата  $I_{\text{т.р.}} = f(t)$  и определить какой двигатель можно защитить данным автоматом без дополнительной настройки и настройкой.

#### **Порядок работы при снятии защитной характеристики.**

1. Подготовить стенд к работе.
2. Подключить проверяемую фазу автомата к клеммам "Переменный ток плавно", и в качестве блок-контакта использовать свободную фазу автомата.
3. Установить необходимый ток, включить установку и зафиксировать время срабатывания (6-5) точек. При снятии защитной характеристики с

горячего состояния расцепитель необходимо подогреть в течение 1-2 минут номинальным током.

### **Содержание отчета.**

1. Начертить схему универсального стенда МИИСП.
2. Привести результаты испытаний автоматов.
3. Сделать заключение о качестве автомата.

### **Контрольные вопросы:**

1. Как устроен и работает автоматический выключатель?
2. Как регулируются токи срабатывания автоматов?
3. Для каких целей предназначен универсальный стенд МИИСП?
4. Как настроить защиту асинхронного двигателя от перегрузок и коротких замыканий?

### **Литература.**

1. Таран В. П. Техническое обслуживание электрооборудования в с/х.-М. : Колос. 1975
2. Чунихин А. А. Электрические аппараты. - М.: Энергия. 1975
3. Пястолов А.А. и др. Практикум по монтажу, эксплуатации и ремонту электрооборудования. - М.: Колос. 1976
4. Казимир Л.П., Кerpелева И.Е., Прудников Н. Н. Эксплуатация электроустановок и электробезопасность в с/х. - М.: Колос.
5. Мусин А.М. Аварийные режимы асинхронных электродвигателей и способы их защиты - М.: Колос. 1979



## **Лабораторная работа № 7.**

### **ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВЫМ РЕЛЕ И НАСТРОЙКА ЕГО С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНОГО СТЕНДА**

#### **Цель работы.**

Изучить устройство и принцип действия тепловых реле и освоить приемы настройки их на универсальном стенде МИИСП.

#### **Программа работы.**

1. Изучить устройство и принцип действия тепловых реле.
2. Снять защитные характеристики теплового реле.
3. Настроить защиту электродвигателя с помощью стенда и определить, какой двигатель можно защитить данным реле.

#### **Общие сведения.**

Устройством, предназначенным для защиты электродвигателей от перегрузки, является тепловое реле, которое работает в сочетании с магнитным пускателем. Тепловое реле состоит из биметаллической пластинки, нагревательного элемента, контактов с пружиной и защелкой. Биметаллическая пластина состоит из двух металлов, прочно, сваренных между собой по всей поверхности и имеющих различные температурные коэффициенты линейного расширения ( $\alpha$ ). Один металл имеет малый коэффициент линейного расширения и называется пассивным, другой имеет большой коэффициент и называется активным. При нагревании активный слой стремится удлиниться на большую величину, чем пассивный и как следствие этого, возникает момент силы, изгибающий биметаллическую пластинку в сторону пассивного слоя.

Величина изгиба незакрепленного конца биметаллической пластины может быть найдена подвыражению (I)

$$X = \frac{3 * l^2 V}{4(\alpha_1 - \alpha_2) \delta} \quad (1)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - коэффициенты линейного расширения активного и пассивного слоев,  $l^0C$

$L$  – длина пластины, мм

$\delta$  – суммарная толщина пластины, мм

$V$  – привышения температуры,  $^{\circ}\text{C}$

Усилие на прогнутом конце пластины может быть определено по нижеследующему выражению (2):

$$F = 3 / 16 ( \alpha_1 - \alpha_2 ) \frac{b \delta E V}{l} \quad (2)$$

где  $b$  – ширина пластины, мм

$E$  – средний модуль упругости пластины,  $\text{H}/\text{мм}^2$

Из выражений (1) и (2) видно, что как прогиб, так и усилие на конце пластины прямо пропорциональны разницы коэффициентов линейного расширения.

Для активных слоёв в основном используется железо-никель-молибденовые сплавы, имеющие  $\alpha_1 = (18 \div 19) \cdot 10^{-6} \quad \text{I}^{\circ}\text{C}$ .

Для пассивных слоев получили распространение железо-никельные сплавы с 36% содержанием никеля.

$$\alpha_2 = (1-7) \cdot 10^{-6}, \quad \text{I}^{\circ}\text{C}$$

Биметаллические пластины могут нагреваться током двигателя, протекающем непосредственно по пластинам (непосредственный нагрев) или специальными нагревательными элементами (косвенный нагрев). В некоторых аппаратах имеет место сочетание непосредственного и косвенного нагрева (комбинированный нагрев).

При непосредственном нагреве широкое регулирование тока срабатывания теплового реле осуществляется путём подбора шунтов, заключённых параллельно биметаллической пластине. При косвенном нагреве регулирование тока срабатывания осуществляется заменой нагревательных элементов. Регулирование тока срабатывания в небольших пределах достигается за счет изменения величины прогиба и усилия, развиваемого биметаллической пластиной.

Основной характеристикой тепловых реле является амперсекундная (защитная) характеристика. Очевидно, что чем больше ток в цепи, тем быстрее нагревается биметаллическая пластина и тем быстрее реле срабатывает. Защитная характеристика теплового реле имеет такую же форму, как и характеристика плавной вставки, однако в их работе имеется существенная разница. В области малых токов защитная характеристика теплового реле лежит ниже защитной характеристики плавкой вставки, а в области больших токов – наоборот.

Это свидетельствует о том, что тепловое реле может защищать электродвигатель от сравнительно небольших перегрузок и, из-за большой тепловой инерции биметаллической пластины, но в состоянии обеспечить достаточно быстрое отключение при коротких замыканиях, более того, оно само требует защиты от коротких замыканий.

Наибольшее распространение в сельском хозяйстве получили тепловые реле серии ТРН, ТРП, РТТ, РТЛ.

Тепловое реле типа ТРН - двухполюсное, с температурной компенсацией, с ручным возвратом. Нагрев биметаллической пластины косвенный, нагреватели сменные.

Тепловое реле ТРН-10А - двухполюсные с температурной компенсацией с ручным возвратом. Нагрев биметалла - комбинированный, нагреватели несменные.

Однополюсные тепловые реле типов ТРП-60 и ТРП-150 без температурной компенсации имеют комбинированный нагрев биметалла.

Тепловое реле РТТ - трехполюсное с температурной компенсацией ускоренно срабатывает при обрыве одной из фаз, имеет ручной возврат.

Температурный компенсатор выполнен из биметалла с обратным прогибом по отклонению к основному термоэлементу. При установившейся температуре между компенсатором и защищенной устанавливается определенный зазор. Регулируя зазор путём поворота эксцентрика (регулятора уставки), т.е. удаляя или приближая защелку изменяют уставку реле. Каждое

деление регулятора уставки соответствует 5% значения номинального тока нагревателя.

Тепловое реле РТЛ - трехполюсное с ручным возвратом, встраивается в магнитный пускатель ПМЛ. Время срабатывания трехполюсного реле при нагревании с холодного состояния шестикратным номинальным током при любом положении регулятора уставки и температура окружающей среды 20 °С составляет 4,5 - 12 с.

Тепловое реле контролирует ток в трех фазах, поэтому при включении ЭД в неполнофазном режиме и возрастании тока в любом из нагревательных элементов до  $(6 + 6) I_{т.р.}$  реле отключит двигатель от сети.

При обрыве фазы после включения ЭД в сеть в зависимости от сочетания условий работы электропривода, ток может увеличиваться по сравнению с номинальным на 30 + 40%. С точки зрения нагрева изоляции обмотки такой ток недопустим. Поэтому для надежного срабатывания защиты тепловое реле должно быть точно отрегулировано.

Выбирают параметры теплового реле по следующим соотношениям:

$$1) I_{тр} \geq I_n \quad 2) I_{нз} \geq I_n \quad 3) I_y \geq I_n$$

Где  $I_n$  – номинальный ток ЭД, А

$I_{тр}$ ,  $I_{нз}$ ,  $I_y$  – ток реле, нагревателя и установки

Основной характеристикой тепловых реле является амперсекундная (защитная) характеристика. Чем больше ток в цепи, тем быстрее нагревается биметаллическая пластина и тем быстрее реле срабатывает, что очевидно из выражения для количества тепла выделяемого в нагревателе.

$$Q = I_n^2 R_H t$$

где  $R_H$  – сопротивления нагревателя;

$T$  – время прохождения тока.

Защитная характеристика теплового реле имеет такую же форму, как и характеристика плавкой вставки, однако в их работе имеется существенная разница. В области малых токов защитная характеристика теплового реле

лежит ниже защитной характеристики плавкой вставки, а в области больших токов наоборот.

Это свидетельствует, что тепловое реле может защищать ЭД от сравнительно небольших перегрузок и из-за большой тепловой биметаллической пластины, не в состоянии обеспечить того, оно само требует защиты от коротких замыканий.

Разброс параметров нагревательных элементов тепловых реле зависимость уставок тока срабатывания от температуры окружающей среды не обеспечивает своевременного отключения ЭД от перегрузок, при простом подборе соответствующего номера нагревательного элемента. Необходимо знать защитную характеристику нагревательного элемента и температуру окружающей среды, где установлен ЭД и защитный аппарат.

#### **Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с устройством тепловых реле, представленных на стенде. Обратить внимание на устройство и принцип действия температурного компенсатора у реле типа ТРН. Начертить схему включения теплового реле и силовую цепь управления.

2. По заданию руководителя занятий снять защитную характеристику одного из тепловых реле.

Для снятия защитной характеристики используется универсальный стенд МИИСП (электрическая схема приведена в работе № 5).

#### **Порядок работы при снятии защитной характеристики теплового реле:**

- а) подготовить универсальный стенд МИИСП к работе;
- б) подключить нагревательный элемент теплового реле через силовые контакты МП стенда "переменный ток плавно". В качестве блок-контакта электросекундомера использовать свободный контакт МП. Катушку МП запитать от сети 220 В через кнопки "Пуск", "Стоп" и блокконтакт теплового реле;



в) снять защитные характеристики при различных, положениях тока уставки теплового реле ("-" "0" "+").

#### **Порядок работы при снятии защитной характеристики.**

Установить регулятор уставки в положение "0". Рукоятку автотрансформатора вывести в крайнее левое положение (напряжение равно нулю). Включить стенд и МП. С помощью рукоятки автотрансформатора установить ток (как правило, не более  $3I_{н.э.}$ ), одновременно включить блокконтакт электросекундомера и зафиксировать время срабатывания теплового реле (точка защитной характеристики с холодного состояния).

После остывания нагревательного элемента (не менее 2-х минут) замкнуть контакт теплового реле и не изменяя величину тока опыт повторить. Снять защитную характеристику с горячего состояния. Для этого зафиксировать время срабатывания при кратностях тока нагрузки (по отношению к  $I_{н.э.}$ );  $3I_{н.э.}$ ;  $2,5I_{н.э.}$ ;  $2,0I_{н.э.}$ ;  $1,5I_{н.э.}$  (кратность снижать до тех пор, пока время срабатывания не достигнет 120 ...150 с). Между опытами давать возможность остывать нагревательным элементам не менее 2 мин.

Аналогично снять защитные характеристики с горячего состояния теплового реле при положениях регулятора тока уставок "-" и "+". Данные занести в таблицу I.

6.1-жадвал.

Тип реле	Номинальный ток нагревательного элемента, А	Состояние нагревателя	Положение регулятора тока срабатывания	Количество нагревателей
----------	---	-----------------------	--	-------------------------

г) по полученным точкам построить защитные характеристики реле. На графике необходимо показать зону регулирования и зону разброса срабатывания реле.

д) По защитным характеристикам, соответствующим нулевому изложению регулятора, определить мощность ЭД, который можно защищать данным реле

## **Лабораторная работа № 8.**

# **ИСПЫТАНИЕ УНИВЕСАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ТИПА УЗ-1А ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭД ОТ АНОМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ**

### **Цель работы.**

Изучить принцип работы устройства УЗ-1А. Ознакомиться со схемой включения, определить его характеристики.

### **Порядок выполнения работы.**

1. Изучить принципы работы устройства, схему его включения.
2. Определить величину напряжения нулевой точки ЭД при котором работает устройство.
3. По характеристике определить величину сопротивления срабатывания.
4. Проверить работу устройства УЗ-1А при обрыве фазы.
5. Проверить работу устройства УЗ-1А при нагреве ЭД.

### **Содержание отчета.**

1. Указать достоинства и недостатки устройства УЗ-1А на основе анализа работы схемы.
2. Показать зависимость значения термосопротивлений от температуры.
3. Привести установки срабатывания устройства по напряжению в нулевой точке и сопротивления.
4. Начертить схему включения устройства УЗ-1А.

### **Описание работы.**

При обрыве фазы напряжение нулевой точки вращающегося под нагрузкой электродвигателя возрастает. Срабатывает тиристор (Тип МТХ-90). Он включает реле К и реле своими контактами разрывает цепь питания катушки магнитного пускателя КМ. При нагрузках электродвигателя, происходит увеличение тока, протекающего на обмотке статора и обмотка нагревается. Одновременно нагревается и термосопротивление. При нагреве сопротивления (рис.2) термосопротивление уменьшается, при этом напряжение

на сетке тиратрона  $D_2$ , увеличивается. Тиратрон зажигается, срабатывает реле К и пускатель КЛ отключает двигатель от сети. Стабилитрон  $L_3$  и сопротивление  $R_2$  служат стабилизатором напряжения в схеме УЗ. Для определения нулевой точки, при которой срабатывает устройство, собирают схему (рис.1). Подняв питание до 380 В, уменьшая сопротивление, увеличивают напряжение между нейтралью сети и нулевой точки до срабатывания УЗ. Значение должно быть не более 65 В. При проведении опыта клеммы 4 и 5 устройства свободны, рубильники Р1, Р2, Р3 - замкнуты. Снижают зависимость  $t^\circ$  (Тип КМТ-I) от температуры. Термосопротивление подогревают в трансформаторном масле до 100-110° С. Значение сопротивления определяется мостом УМВ. Затем на клеммы устройства 4 и 5 подключают сопротивление  $t^\circ$ . При обрыве любой из фаз рубильники Р1, Р2, Р3 поочередно отключают устройство, оно должно мгновенно отключать магнитный пускатель КМ, а также позволять его повторно включать. При обрыве фазы контролируют напряжение в нулевой точке  $U^\circ$ , при имитации перегрузки, температуру при которой срабатывает УЗ.

Показать зависимость значения термосопротивления от температуры (рис.2).

Провести установку срабатывания устройства по напряжению в нулевой точке, и по температуре.

### **Литература.**

1. Пястолов А.А. и др. Практикум: по монтажу, эксплуатации и ремонту электрооборудования. - М.: Колос. 1976.



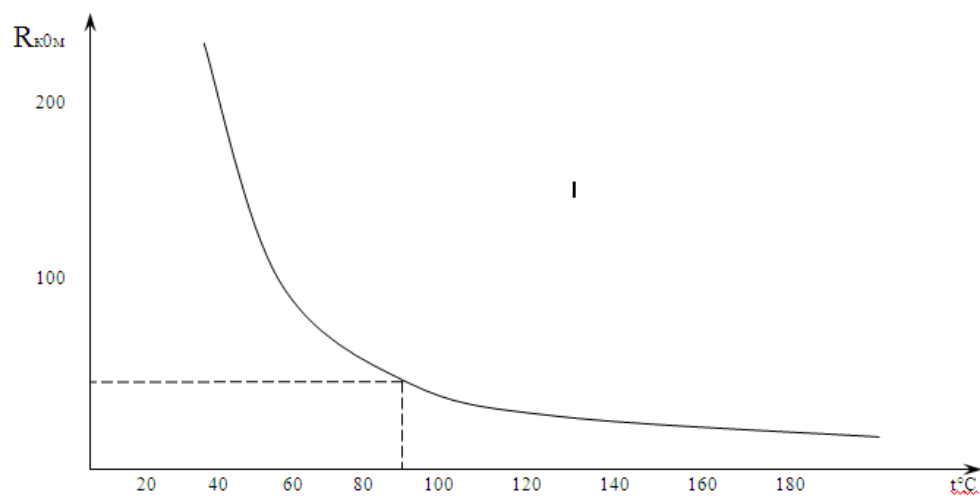


Рис.2. Кривая изменения сопротивления в функции температуры.

## Лабораторная работа № 9.

### КАЛИБРОВКА ПЛАВКИХ ВСТАВОК ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

**Цель работы:** Приобрести навыки калибровки плавких вставок предохранителей.

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Предохранитель предназначен для автоматического однократного отключения защищаемой цепи при коротком замыкании или недопустимо длительной перегрузке.

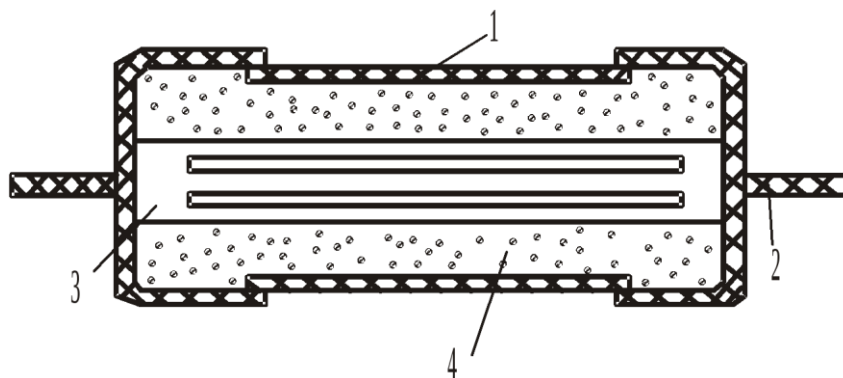


Рисунок 1. Схема предохранителя с наполнителем.

Основными элементами предохранителя являются: корпус - 1, с двух сторон к корпусу крепятся ножи - 2, к ножам присоединена плавкая вставка - 3, внутри корпуса может быть наполнитель - 4 (рисунок 1).

Корпус (патрон) предохранителя выполняется из изоляционного материала. Ножи соединяются с проводами защищаемой электрической цепи. Металлическая плавкая вставка - основной элемент предохранителя - сгорает при повышенном токе, тем самым разрывая цепь. Вставка изготавливается из легкоплавких металлов: свинца, цинка, серебра, меди, алюминия, некоторых сплавов.

Наибольшее распространение получили вставки из меди. Форма их может быть различной: ленточка, диск, несколько полосок фольги и др. Температура плавления вставок понижается при использовании так называемого "металлургического эффекта". Этот эффект состоит в том, что на середину вставки напаивается оловянный шарик. Олово плавится при температуре  $232^{\circ}\text{C}$  и, частично растворяясь в меди, снижает температуру ее плавления с  $1080^{\circ}\text{C}$  до  $475^{\circ}\text{C}$ . При этом ускоряется процесс перегорания вставки.

При сгорании плавкой вставки образуется дуга, которая интенсивно охлаждается от соприкосновения с зернами наполнителя (кварцевого песка) и гаснет за тысячные доли секунды, разрывая цепь. Разделение дуги на мелкие дуги в соответствии с числом параллельно соединенных ленточек вставки облегчает ее гашение.

Характеристиками предохранителя являются:

**Номинальный ток ( $I_{\text{ном}}$ )** плавкой вставки - ток, который может протекать по плавкой вставке неограниченно длительное время. При этом вставка сохраняет свои электрические и тепловые характеристики в пределах допустимых норм. Такой режим работы предохранителя характеризуется как установившийся.

**Пограничный ток ( $I_{\text{пог}}$ )** - минимальный ток срабатывания - ток, при котором плавкая вставка в патроне плавится через промежуток времени, достаточный для достижения ею установившейся температуры.

Пограничный ток представляет собой среднее значение между минимальным током, при протекании которого плавкий элемент расплавляется, и максимальным током, при протекании которого плавкий элемент не расплавляется.

Очевидно, что номинальный ток вставки  $I_{\text{ном}}$  должен быть меньше  $I_{\text{пог}}$  во избежание ложно-аварийных и к тому же частых отключений. С другой стороны, для получения хорошей защиты при малых перегрузках необходимо стремиться к тому, чтобы  $I_{\text{ном}}$  мало отличался от  $I_{\text{пог}}$ .



**Защитная характеристика предохранителя** - зависимость полного времени отключения (продолжительность расплавления плавкой вставки плюс продолжительность горения дуги) от величины отключаемого тока.

Кроме установившегося режима, предохранитель может оказаться в режимах короткого замыкания или токовых перегрузок.

#### **Режим короткого замыкания.**

При возникновении короткого замыкания плавкий предохранитель должен отключить аварийный ток прежде, чем возникнут какие-либо нарушения в цепи. При этом плавкий элемент предохранителя расплавляется, нарушается его целостность и на образовавшемся промежутке происходит инициирование электрической дуги. Электрическая дуга развивается, на ней происходит постепенное увеличение падения напряжения, которое и приводит к уменьшению тока в цепи до нуля. При этом за короткое время в корпусе выделяется большое количество энергии.

#### **Режим токовой перегрузки.**

В общем случае предохранитель может работать при двух типах перегрузки: 1 - когда ток перегрузки ниже пограничного тока; 2 - когда ток перегрузки выше пограничного тока.

При перегрузках первого типа, независимо от длительности перегрузки, узкий перешеек плавкого элемента не расплавляется, а после снятия перегрузки предохранитель возвращается в исходное состояние. (При старении происходит уменьшение пограничного и номинального токов).

При токовых перегрузках второго типа через предохранитель течет длительный ток, а затем плавкий элемент расплавляется, в результате чего происходит инициирование электрической дуги, ее горение и гашение. Предохранитель отключает цепь. Отличие от работы в режиме к.з. в том, что за время, необходимое для расплавления плавкого элемента, имеет место значительный отвод тепла от его поверхности, в то время как в режиме к.з.

процесс нагрева плавкого элемента до температуры плавления непродолжителен и отдачей тепла в окружающую среду можно пренебречь. При этом по абсолютному значению длительность горения дуги значительно больше, чем при коротком замыкании.

### **Выбор плавких предохранителей.**

Наименьшая плавкая вставка, способная при данном режиме длительно обеспечить бесперебойную эксплуатацию, должна удовлетворять трем ниже указанным условиям. Если одному из этих условий отвечает вставка одной величины, а другому условию - вставка большая, надо выбрать большую.

1.Предохранитель в условиях нормальной эксплуатации не должен перегреваться сверх допустимых для него температур.

2.Предохранитель не должен отключать линию при перегрузках, свойственных нормальной эксплуатации, например при пусковых токах ( $I_{\text{пуск}}$ ).

На практике принято руководствоваться следующим:

Для защиты ответвлений к одиночным двигателям при небольшой частоте и длительности пусков, например, у металлообрабатывающих станков и подобных механизмов:

$$I_{\text{ном}} \approx I_{\text{пуск}}/2,5,$$

а при большей частоте пусков или при большой их длительности, например, у двигателей кранов и др. механизмов повторно-кратковременного режима работы, или у таких механизмов, как центрифуги, которые очень медленно набирают скорость:

$$I_{\text{ном}} \approx I_{\text{пуск}}/(1,6...2,0);$$

для защиты линий, питающих более одного двигателя, если известен расчетный ток линии  $I_p$  и пусковой ток  $I_{\text{пуск}}$  того двигателя, у которого он больше других:

$$I_{\text{ном}} \approx (I_p + I_{\text{пуск}})/2,5.$$

3.Предохранитель должен отключать линию при появлении опасных для нее токов короткого замыкания в минимальное время, но, по возможности, селективно. Для безусловного получения селективности необходимо, чтобы

время отключения, определенное по защитной характеристике большего предохранителя, превышало более чем в 3 раза время отключения по характеристике меньшего предохранителя.

### **ПРОГРАММА РАБОТЫ**

1. Изучить назначение, конструкцию, принцип действия и характеристики предохранителей с плавкими вставками.
2. Изучить методику калибровки плавких вставок предохранителей.
3. Произвести калибровку плавкой вставки предохранителя.
4. Снять времятоковую характеристику плавкой вставки.

### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Номинальным током плавкой вставки является ток в 2,5 раза меньше тока, приводящего к перегоранию вставки за 10с.
2. Нарезать 8...10 заготовок из медной проволоки и зачистить края на 10...12мм.
3. По таблице 1 приложения, зная диаметр проволоки, определить приближенное значение номинального тока вставки.
4. Подключить калибруемую плавкую вставку в предохранителе к клемме "∼ общ." и к клемме, на ближайшее превышающее в 2,5 раза номинальный ток плавкой вставки значение, 15А; 50А; 150А; 600А на стенде МИИСП.  
Для других стендов - через внешний трансформатор тока с амперметром к клеммам '∼ «0» и " ∼300А" или непосредственно к клеммам, в зависимости от  $I_{ном}$  калибруемой плавкой вставки.
5. Установить переключатель питания в положение "тр-р плавно" (стенда МИИСП).
6. Вывести ручку "регулятор напряжения" в положение "О".
7. Включить стенд МИИСП выключателем "сеть". Другие стенды, кроме того, тумблером "5А" или автоматом "∼ 380...= 5В".

8. Поворачивая ручку регулятора напряжения по часовой стрелке, обжечь поочередно эмалевое покрытие вставок.

9. Плавно поворачивая ручку регулятора напряжения по часовой стрелке так, чтобы ожидаемую величину тока плавления вставки достигнуть за 30...40 секунд, измерить по амперметру величину тока плавления. Номинальный ток вставки приблизительно в 2,5 раза меньше измерительного тока плавления.

10. Выключить стенд выключателем "сеть".

11. Отсоединить проверенную плавкую вставку.

12. Для более точной калибровки плавкой вставки с одновременной фиксацией времени перегорания следует, выполнив операции 4...6, закоротить клеммы "БК" или "секундомер".

13. Вывести стрелку секундомера в 0, повернув рычаг на секундомере против стрелки до упора.

14. Включить стенд выключателем "сеть".

15. Быстро установить по амперметру "ток нагрузки", поворачивая ручку регулятора напряжения по часовой стрелке, ожидаемый ток плавления вставки и сразу выключить стенд.

16. Включить тумблер "секундомер". Дать вставке возможность остыть в течение 1...2мин.

17. Включить стенд выключателем "сеть". Ток поддерживать постоянным регулятором напряжения.

18. Выключить стенд выключателем "сеть" сразу же после прекращения тока в цепи калибруемого предохранителя и по секундомеру отсчитать время перегорания вставки.

19. Подключая новые вставки, выполнять операции 13...18, корректируя при этом ток так, чтобы время перегорания вставки было близко к 10 секундам.

20. Рассчитать номинальный ток вставки:  $I_{ном} = I_{пл}/2,5$ .

## Рекомендации по технике проведения измерений.

Измерения проводятся с помощью испытательного стенда по схеме рисунок 2.

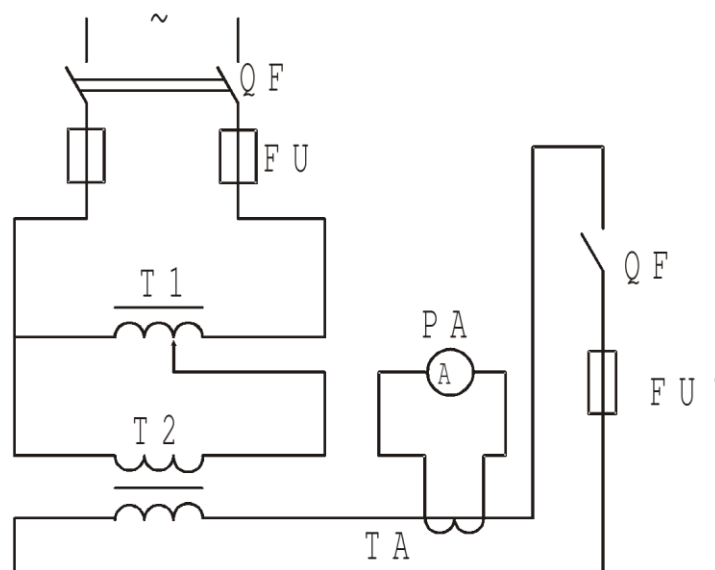


Рисунок 2 – Схема калибровки плавких вставок.

T1 - автотрансформатор; T2 - понижающий трансформатор;

ТА - трансформатор тока; РА - амперметр; Q - выключатель;

FU - предохранитель сети; FU' - испытуемая вставка предохранителя.

1. Произвести калибровку плавких вставок в соответствии с методикой калибровки.

2. Снять защитную характеристику плавкой вставки. Результаты измерений занести в таблицу 1.

3. По результатам измерений построить защитную характеристику.

Таблица 1 - Результаты измерений калибровки плавких вставок.

Материал, диаметр провода, мм	Время перегорания плавкой вставки при $k = I/I_{\text{ном}}$ ( $I_{\text{ном}} = \dots \text{A}$ )			
	2,0	2,5	3,0	4,0

## **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Название и цель работы.
2. Назначение, конструкция (основные узлы), принцип действия и характеристики предохранителей.
3. Результаты измерений.
4. Защитная характеристика плавкой вставки.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Назвать основные характеристики предохранителя.
2. Режимы работы предохранителя.
3. Основные критерии выбора предохранителя.
4. Что такое “металлургический эффект”.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

Таблица 1 - Рекомендуемый диаметр медных проводов для плавких вставок открытых предохранителей.

Ток вставки, А	6	10	15	20	25	35	40	50	60	70	80	100
Диаметр провода, мм	0,25	0,35	0,45	0,55	0,60	0,75	0,80	0,90	1,05	1,10	1,20	1,35

## **ЛИТЕРАТУРА.**

1. Намитков К.К. и др. Плавкие предохранители. - М.: Энергия, 1979.
2. Кокорев А.С. Контроль и испытание электрических машин, аппаратов и приборов. – М.: Высш. шк., 1990.
3. Нормативные основы устройства и эксплуатации электроустановок. Нормативно-технический сборник. – Барнаул, 2002. – 976 с.

## **Лабораторная работа № 10.**

### **ИСПЫТАНИЕ УСТРОЙСТВ ВСТРОЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАЩИТЫ ТИПА УВТЗ-1М**

#### **Цель работы.**

Изучить схему принцип работы и конструкцию встроенных температурных защит типа УВТЗ-1М. Освоить методику их испытания.

#### **Программа работы.**

1. Ознакомиться с устройством, схемой включения и работой УВТЗ-1М.
2. Снять зависимость сопротивления терморезистора от температуры.
3. Проверить работоспособность УВТЗ-1М.
4. Определить сопротивления срабатывания и коэффициент возврата устройств при изменении напряжения питания от 0,85 до 1,15 В.

#### **Общие сведения.**

До недавнего времени основной комплект защиты аппаратуры двигателей сельскохозяйственных приводов состоял из предохранителей, защищающих от короткого замыкания, и тепловых реле в магнитных пускателях для защиты от перегрузок и обрывов фаз. Защита плавкими предохранителями проста и надежна, однако эффективность ее существенно снижается из-за того, что колхозы и совхозы не обеспечены в достаточном количестве и ассортименте калиброванными плавкими вставками и вынуждены применять так называемые "жучки". Кроме того, предохранители часто вызывают неполнофазный режим.

Замена предохранителей автоматическими выключателями исключает неполнофазный режим за счет трехфазного отключения. Защиту от токов короткого замыкания обеспечивает электромагнитный расцепитель, а от перегрузки, и обрыва фаз - тепловые расцепители автоматических выключателей. Однако для надежной защиты двигателя тепловые реле и

тепловые расцепители автоматов должны быть тщательно отрегулированы, что может быть выполнено лишь квалифицированным персоналом. Характерными особенностями биметаллических элементов реле и автоматов также являются зависимость тока а, следовательно, и времени срабатывания от температуры окружающей среды, а также нестабильности параметров срабатывания от температуры окружающей среды, а также нестабильности параметров срабатывания с течением времени. Кроме того, тепловые реле и автоматы вообще не защищает двигатель при весьма частом в сельском хозяйстве нарушении охлаждения, вследствие засорения вентиляционных отверстий, загрязнения корпуса или поломки вентиляторов.

Для двигателей, работающих в таком режиме, следует применять встроенную температурную защиту.

Встроенная температурная защита, датчики которой непосредственно контролируют температуру обмотки, наилучшим образом обеспечивает защиту двигателей при перегревах по любой причине.

В качестве датчиков температуры обмоток чаще всего используются полупроводниковые терморезисторы. Высокая чувствительность к изменению температуры, малые габариты и инерционность, высокая надежность и простота в изготовлении обусловили предпочтительное их использование.

Температурная защита с применением терморезисторов дороже, чем защита биметаллическими тепловыми реле, однако эта разница в большинстве случаев окупается её надежностью и значительно большим сроком службы.

Различают терморезисторы, с отрицательным и положительным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Терморезисторы с отрицательным (ТКС) соединяют параллельно. В случае применения резисторов все три датчика для трех фаз соединяются последовательно. В случае любого из позисторов общее сопротивление, резко увеличивается. Позисторы имеют так называемую «Релейную» характеристику, т.е. с ростом температуры в узких пределах сопротивление увеличивается на несколько порядков.



Позисторы имеются на разные температуры срабатывания и выбираются в зависимости от класса нагревостойкости изоляции и системы охлаждения двигателей, т.е. для определенного класса изоляции двигателей выбирается определенный позистор.

Применение позисторов в качестве термодатчиков предпочтительнее по сравнению с терморезисторами с отрицательным ТКС, так как обеспечивает большую стабильность температуры срабатывания благодаря "релейной" характеристике. С целью чувствительности датчиков к тепловому состоянию двигателей и аварийных режимах необходимо размещать их непосредственно в наиболее нагреваемых частях обмотки, т.е. в лобовой части.

В настоящее время серийно выпускается современная встроенная температурная защита типа УВТЗ-І и УВТЗ-ІМ (рис.1). Принцип их действия одинаков, хотя схема и конструктивное оформление различны.

Устройства температурной защиты унифицированы для всех типоразмеров электродвигателей, взаимозаменяемы и не требуют регулировки и настройки при монтаже и эксплуатации.

Из схемы температурной защиты УВТЗ-ІМ (рис.1) видно, что устройство защиты содержит узел питания, усилитель и выходное реле К1. Узел питания состоит из диодного моста V1...V4, ограничивающих резисторов R1, R2 и R4 и стабилитронов

V5 и V13. Усилитель выполнен на транзисторах V8...V11 и тиристоре V6.

Схема УВТЗ-ІМ работает следующим образом. Если температура обмотки электродвигателя ниже предельно допустимого значения, то сопротивление позисторов мало и напряжение, поступающее на транзистор V11, будет больше значения порога срабатывания усилительного каскада V10, V11, определяемого двигателями

R6, R7, R8. В этом случае, транзистор V11 будет открыт, транзистор V8 и тиристор V6 - закрыты, а реле К1 -обесточено.

При увеличении обмоток электродвигателя сверх предельно допустимого значения сопротивления позисторов возрастает и сигнал, поступающий на

транзистор V11, уменьшается. Тогда транзистор V11 закрывается, а транзистор V8 открывается. Тиристор V6 и выходное реле K1 включаются; контакты реле K1.1 размыкают цепь питания катушки магнитного пускателя, который отключает электродвигатель от сети.

Устройство УВТЗ-ИМ осуществляет, также самоконтроль - отключает электродвигатель, при возникновении неисправности в цепи датчиков-позисторов.

Устройство типа УВТЗ устанавливается в вертикальной плоскости либо в герметизированных шкафах управления, либо автономно, рядом с магнитным пускателем, на стенах и конструкциях. Термодатчики могут устанавливаться в обмотку статора во время ее укладки при изготовлении двигателя или при капитальном ремонте его, а также в эксплуатационных условиях. Их устанавливают в середине лобовой части так, чтобы проводники обмотки касались их со всех сторон. Концы от термодатчиков протягивают через коробку выводов. Все соединения и выводы выполняются медным проводом сечением не менее  $0,5 \text{ мм}^2$ . Для соединения позисторов необходимо применять провода с классом нагревостойкости не ниже, чем у обмотки статора.

Эксплуатация устройств типа УВТЗ должна осуществляться электротехническим персоналом не ниже 3-й квалификационной группы по технике безопасности. Техническое обслуживание УВТЗ рекомендуется проводить одновременно с обслуживанием двигателей и пускозащитной аппаратуры в целях сокращения простоя машин. При техническом обслуживании удаляют грязь и пыль с поверхности корпуса с помощью сухой щетки или ворсистой тряпки, проверяют целостность уплотнений корпуса, отсутствие механических повреждений, обугливания изоляции на крышке и подводных проводах, плотность контактов в месте соединения проводов, надежность крепления корпуса и крышек, проверяют работоспособность устройства. Также следует измерить мегомметром на 500 В сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса и между фазами, сопротивление изоляции цепи термодатчиков относительно обмотки и корпуса двигателя.

Наименьшее допустимое сопротивление изоляции обмоток статора и цепи термодатчиков 0,5 мОм. В случае нескольких срабатываний температурной защиты подряд необходимо выяснить и устранить причину, вызывающую срабатывание. В случае неисправности устройство встроенной температурной защиты подлежит замене.

### **Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с устройством, схемой включения и принципом действия УВТЗ-1М.

2. Зависимость сопротивления позисторов от температуры снимают при помощи моста ртутного термометра на 200° С путём нагрева позисторов в парафине. Ориентировочное значение сопротивления позисторов при температуре 20° С составляет 40-150 Ом. Данные опыта записывают в таблицу 1.

Таблица 1.

	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140

Построить зависимость  $R_{п} = f(t)$  по полученным данным.

3. Проверка работоспособности смонтированного устройства встроенной температурной защиты, производится следующим образом, нажатием кнопки «Пуск» включают магнитный пускатель. Убедившись в нормальной его работе, необходимо разомкнуть цепь позисторов. Срабатывание устройства и отключения магнитного пускателя К свидетельствует о нормальной работе встроенной температурной защиты. После повторного включения магнитного пускателя К исправность защитного устройства проверяется искусственным коротким замыканием в цепи датчиков. Нормально действующее устройство типа УВТЗ в этом случае должно сработать и отключить магнитный пускатель К.

### **Содержание отчета.**

I. Привести схемы УВТЗ-I и схему проверки УВТЗ.

2. Привести результаты испытаний.

### Контрольные вопросы.

1. Назовите виды защит от аномальных режимов работы асинхронных электродвигателей и дайте сравнительный анализ.

2. Каковы достоинства и недостатки устройств УВТЗ-I.

### Литература.

1. Пястолов А.А. и др. Практикум по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования. – М.: Колос. 1976

2. Трубиц.Я.Б., Белов Г.К. Температурная защита асинхронных двигателей в сельскохозяйственном производстве. - М.: Энергия. 1977

3. Бодин А.П. и др. Новое электрооборудование для с/х. - М.: Россельхозиздат. 1975.

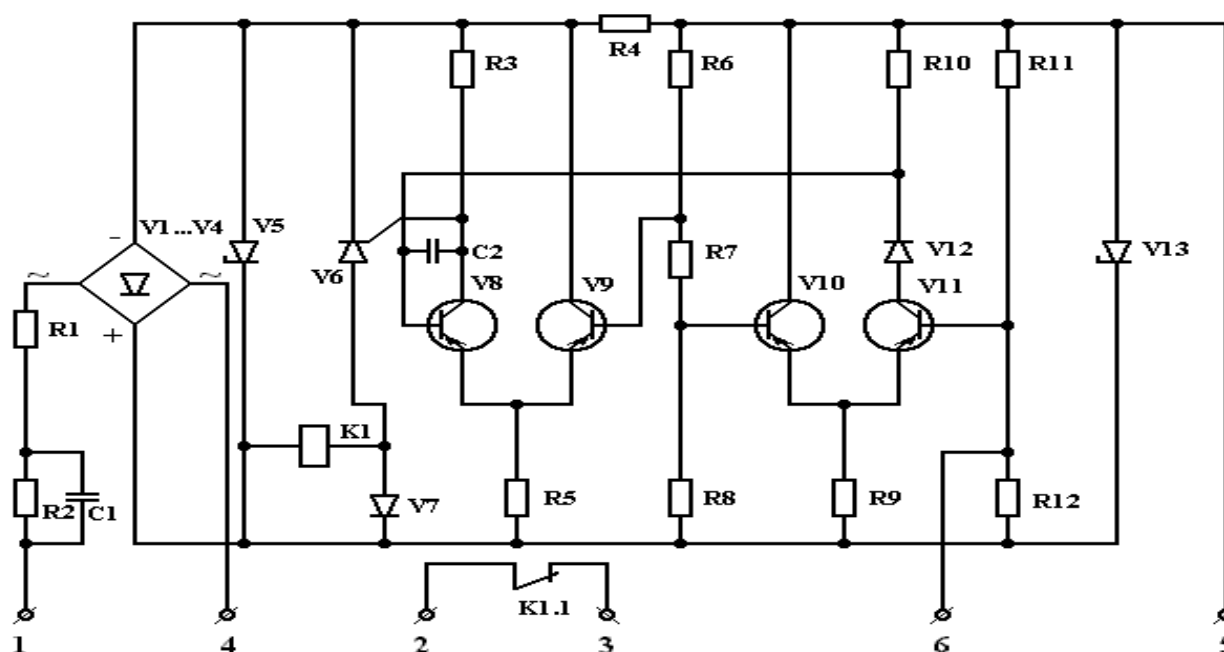


Рис.1. Принципиальная схема устройства защиты УВТЗ-1М.

## **Лабораторная работа № 11.**

### **ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ УСТАНОВОК С ТРЁХФАЗНЫМ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

**Цель работы.** Выявить факторы, влияющие на коэффициент мощности и изучить естественные и искусственные способы его повышения в установках с 3-х фазным ЭД.

#### **Программа работы.**

1. Ознакомиться с электрической схемой установки.
2. Снять зависимость  $\cos\varphi$  от загрузки двигателя.
3. Экспериментально проверить возможность повышения  $\cos\varphi$  электродвигателя путём переключения с  $\Delta$  на  $\bigwedge$  и определить область применения этого способа.
4. Определить необходимую ёмкость для компенсации реактивной мощности  $\cos\varphi_1$  до  $\cos\varphi_2$  и сравнить с экспериментальными данными.

#### **Теоретически сведения.**

Асинхронные трёхфазные двигатели, обладающие индуктивностью потребляют из сети как активную, так и реактивную энергию. Активная энергия преобразуется в двигателе в механическую энергию, а реактивная энергия периодически пульсирует между генератором и двигателем, непроизводительно загружая электрическую сеть.

Отношение активной мощности к полной называется коэффициентом мощности ( $\cos\varphi$ ).

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (1)$$

где  $S$ ,  $P$ ,  $Q$  – полная, активная и реактивная мощности.

Электродвигатели, работающие с низким  $\cos\varphi$ :

а) непроизводительно загружаются генераторы станций и трансформаторы подстанций, так как ток, потребляемый двигателем из сети равен

$$I = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3 \cdot V \cdot \cos\varphi}} \quad (2)$$

Из выражения (2) видно, что при одной и той же мощности двигателя, сила тока будет тем больше, чем меньше  $\cos\varphi$ .

б) увеличивают потери мощности в сети

$$\Delta P = I^2 \cdot r \quad (3)$$

Из выражения (2), учитывая (3), видно, что чем ниже  $\cos\varphi$ , тем больше потери в проводах при передаче одной и той же мощности.

в) непроизвольно загружают питающий трансформатор

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} \quad (4)$$

Видно, что при одной и той же активной нагрузке трансформатора увеличивается при уменьшении.

Подходя из этого, ПУЭ предписывает, что средневзвешанный  $\cos\varphi_{\text{срвз}}$  электродвигателя в промышленных установках не должен быть ниже 0,92-0,95.

При проектировании электроустановок с асинхронным двигателем следует учитывать, что  $\cos\varphi$  их зависит не только от конструктивных параметров, скорости вращения, мощности, но и степени загрузки. В таблице 1 приведены значения  $\cos\varphi$  некоторых двигателей серии АО2 при номинальной нагрузке.

Из таблицы видно, что электродвигатель малой мощности и меньшей скорости вращения имеют более низкий  $\cos\varphi$ . Это объясняется тем, что в маломощных электродвигателях значение воздушного зазора, сильно влияющего на потребление реактивной мощности, относительно больше, чем в мощных двигателях.

Таблица 1.

Номинальная мощность электродвигателя, кВт	Асинхронный двигатель АО2 с синхронной частотой вращения, об/мин			
	3000	1500	1000	750
0,6	-	0,76	0,68	-
1,1	0,87	0,8	0,76	-
4,0	0,89	0,85	0,79	0,71
10	0,89	0,88	0,89	0,83
22	0,90	0,90	0,90	0,85
75	0,92	0,92	0,92	-

Зависимость  $\cos\varphi$  от нагрузки объясняется тем, что значение тока намагничивания

$$I_{\mu} = \frac{V}{2\pi \cdot f \cdot L}$$

и магнитного потока при всех изменениях нагрузки двигателя остаются неизменными, а активная составляющая тока возрастает с увеличением нагрузки. Однако при больших перегрузках также начинает падать из-за больших магнитных потоков рассеяния, вызываемых насыщенностью стали.

На значении  $\cos\varphi$  сказываются колебания напряжения сети, при повышении напряжения  $\cos\varphi$  ухудшается, при понижении улучшается. Это объясняется тем, что с повышением напряжения – увеличивается ток намагничивания. Из сказанного видно, что даже самые хорошие электродвигатели (в отношении номинального  $\cos\varphi$ ) при неправильной – эксплуатации могут иметь низкий  $\cos\varphi$ .

В связи с этим борьба сельских электриков за повышение  $\cos\varphi$  становится весьма актуальной.

Сущность повышения  $\cos\varphi$  заключается в снижении потребления реактивной энергии. Этого можно достигнуть естественным и искусственным путём.

К естественным мероприятиям относятся следующие: а) правильный подбор электродвигателей к рабочим по мощности и по частоте вращения; б) высококачественный ремонт асинхронных двигателей; г) переключение двигателя с  $\Delta$  на  $\bigwedge$ , если по условиям технологического процесса возможна длительная работа асинхронного двигателя при нагрузке  $(0,4 \div 0,5) P_n$ .

Все перечисленные естественные мероприятия по повышению позволяют обеспечить работу двигателей с предельно возможным для них номинальным  $\cos\varphi$ . Для маломощных электродвигателей, наиболее распространенных в сельскохозяйственном производстве,  $\cos\varphi$  находится в пределах  $0,75 \div 0,85$ . Поэтому в сельском хозяйстве даже при самых благоприятных условиях эксплуатации  $\cos\varphi$  будет меньше, чем этого требуют ПУЭ.

Для дальнейшего повышения  $\cos\varphi$  прибегают к искусственным способам, к числу которых могут быть отнесены применение статических конденсаторов и синхронных двигателей.

В условиях, сельскохозяйственного производства наиболее целесообразно применять статические конденсаторы. Конденсаторы обладают незначительными потерями ( $0,3 - 1,0\%$  от реактивной мощности), бесшумны, просты и удобны в обслуживании.

Применение конденсаторных установок дает возможность повысить  $\cos\varphi$  до требуемой величины и уменьшить потери.

При включении конденсаторной батареи параллельно в электродвигателем, имеющим недостаточно высокий  $\cos\varphi$ , результирующий угол сдвига фаз  $\varphi_2$ , как видно из векторной диаграммы (рис. 2) будет меньше угла сдвига фаз  $\varphi_1$ , электродвигателя, а результирующий ток неразветвленной цепи  $I_2$  будет меньше результирующего тока  $I_1$  электродвигателя.

где  $I_\mu$ ;  $I_c$ ;  $I_a$ ;  $I_1$ ;  $I_2$  – ток намагничивания, емкостной, активный, результирующий до и после компенсации соответственно.



Таким образом, присоединение конденсаторной батареи параллельно с электродвигателем повышает его.

Потребная реактивная мощность компенсирующего устройства определяется по формуле

$$Q_{\text{кy}} = P(tg \varphi_1 - tg \varphi_2) \text{ кВАР} \quad (5)$$

где  $P$  – активная мощность двигателя или двигателей, кВт;

$\varphi_1$ ;  $\varphi_2$  – угол сдвига между током и напряжением до и после компенсации.

Ёмкость трехфазной батареи статических конденсаторов, соединенных треугольником, может быть определена по выражению (6).

$$3C = \frac{Q_{\text{кy}}}{\omega \cdot U^2} \cdot 10^9 \text{ мкФ} \quad (6)$$

где  $C$  – ёмкость одной фазы конденсаторной батареи, мкФ;

$\omega = 2\pi f$  – угловая скорость;

$U$  – напряжение на фазе конденсатора, В.

Чтобы уменьшить ёмкость конденсаторной батареи при этой же реактивной мощности, конденсаторы соединяют в треугольник так как при этом напряжение на конденсаторах повышается в 3 раза, вследствие чего мощность конденсаторной батареи возрастает в 3 раза.

### **Программа работы и порядок ее выполнения.**

1. Вычертить схему, ознакомиться с ее работой (рис. 1).
2. Включить двигатель треугольником без компенсирующих ёмкостей, определить  $\cos \varphi_{\Delta 1}$  при  $P_2 = P_{\text{хх}}$ ;  $0,5 P_{\text{н}}$ ;  $0,8 P_{\text{н}}$  и  $P_{\text{н}}$ , а затем переключить двигатель в звезду и при тех же значениях загрузки определить значение  $\cos \varphi$ . Сравнить между собой. Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2.

Схема соединения	V; В			I; А			Р, Вт			$P_{\text{общ}}$	$P_2$	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$
	А	В	С	А	В	С	А	В	С	Вт	Вт		

3. По заданию руководителя занятий определить необходимую ёмкость батареи, чтобы при заданной нагрузке двигателя получить  $\cos\varphi=0,9\div 0,92$ .

Включить батарею конденсаторов и определить  $\cos\varphi_2$  и сравнить с расчётным значением.

### **Содержание отчета**

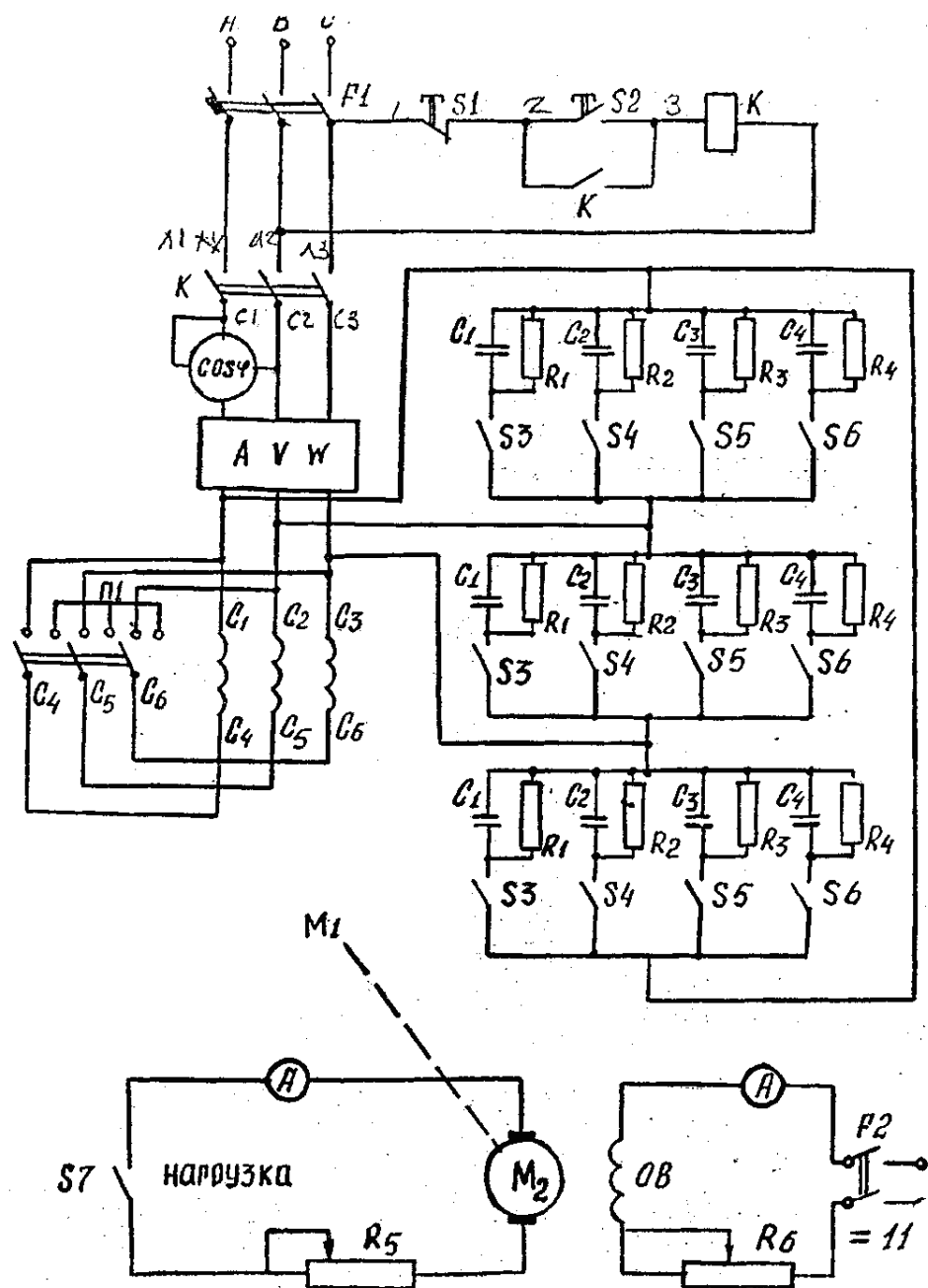
1. Вычертить схему лабораторной установки
2. По результатам проведенных опытов определить нагрузку двигателя, рассчитать значение  $\cos\varphi$  при соединении двигателя треугольником и звездой. Результаты представить в таблице 2.
3. Представить графики зависимостей  $\cos\varphi_{\Delta}=f(P_2)$ ;  $\cos\varphi_{\star}=f(P_2)$ .
4. Представить расчеты емкостей компенсирующих батареи и значение емкости полученных из опыта.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое коэффициент мощности?
2. Как влияет  $\cos\varphi$  двигателя на работу системы электроснабжения?
3. Каковы способы повышения  $\cos\varphi$ ?
4. Как определить мощность и ёмкость батареи компенсирующего устройства?

### **Литература**

1. Назаров Г. И. Электропривод и применение электрической энергии в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1972. – С. 13-177.
2. Яницкий С. В. Применение электрической энергии в с/х. – М.: Колос, 1969. – С. 46-52.



## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Мирзиёев Ш.М. Наше великое будущее начинается сегодня. Труженики сельского хозяйства – прочный столп жизни, крепкая опора нашего благополучия. Выступление Президента Республики Узбекистан на торжественном собрании по случаю Дня работников сельского хозяйства. Ташкент, 9 декабря 2017 года.- Народное слово, 10 декабря 2017 года, с.1.
2. 2014 йил 13 июнь кунли Олий Мажлис Қонунчилик палатасида Ўзбекистон Республикаси қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлигининг 2013-2017 йиллар даврида Суғориладиган ерларнинг мелиоратив ҳолатини яхшилаш ҳамда сув ресурсларидан оқилона фойдаланиш бўйича давлат дастури бажарилишининг бориши тўғрисидаги ахбороти.- Парламент эшитуви бўлиб ўтди.- <http://uza.uz/oz/politics/32770/>
3. Пястолов А.А., Ерошенко Г.П. Эксплуатация электрооборудования.- М.: Агропромиздат, 1990.- 287 с.
4. Афанасьев Н.А., Юсипов М.А. Система технического обслуживания и ремонта оборудования энергохозяйств промышленных предприятий (система ТОР ЭО).- М.: Энергоатомиздат, 1989.- 528 с.
5. Гольдберг О.Д. Надёжность электрических машин общепромышленного и бытового назначения.- М.: Знание, 1976.- 48 с.
6. Грундулис А.О. Защита электродвигателей в сельском хозяйстве.- М.: Колос, 1982.- 101 с.
8. Ерошенко Г.П., Коломиец А.П., Кондратьева Н.П., Медведько Ю.А., Таранов М.А. Эксплуатация электрооборудования.- М.: КолосС, 2005.- 344 с.- (Учебники и учеб. пособия для студентов высших учебных заведений).
9. Ерошенко Г.П., Пястолов А.А. Курсовое и дипломное проектирование по эксплуатации электрооборудования.- М.: Агропромиздат, 1988.- 160 с.
10. Каганов И.Л. Курсовое и дипломное проектирование.- М.: Агропромиздат, 1990.- 315 с.
11. Казимир А.П., Кerpелёва И.Е., Прудников Н.И. Эксплуатация электроустановок и электробезопасность.- Л.: Колос, 1980.- 240 с.
12. Корчемный Н.А., Машевский В.П. Повышение надёжности электрооборудования в сельском хозяйстве.- Киев: Урожай, 1988.- 176 с.
13. Мартыненко И.И., Тищенко Л.П. Курсовое и дипломное проектирование по комплексной электрификации и автоматизации.- М.: Колос, 1978.- 223 с.
14. Поярков К.М. Практикум по проектированию комплексной электрификации.- М.: Агропромиздат, 1987.- 192 с.
16. Правила устройств электроустановок.- М.: Энергоатомиздат, 1985.- 150 с.

17. Проектирование комплексной электрификации/ Под ред. Л.Г.Прищепа.- М.: Колос, 1983.- 271 с.
18. Ерошенко Г.П., Медведев А.Ю., Таран А.М. Эксплуатация электрооборудования предприятий Агропромышленного комплекса.- М.: КолосС, 2010.- 592 с.
19. Пястолов А.А., Мешков А.А., Вахрамеев А.П. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования.- М.: Колос, 1981.- 335 с.
20. Пястолов А.А. и др. Практикум по монтажу, эксплуатации и ремонту электрооборудования.- М.: Колос, 1976.- с.
21. Пястолов А.А. и др. Эксплуатация и ремонт электроустановок.- М.: Колос, 1981.- с. 246.
22. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий / Госагропром СССР.- М.: Агропромиздат, 1987.- 191 с.
23. Синягин Н.Н. и др. Система планово-предупредительного ремонта электрооборудования промышленных предприятий.- М.; Энергия, 1978.- с.
25. Сырых Н.Н., Чекрыгин В.С., Калмыков С.А. Техническое обслуживание электрооборудования в сельском хозяйстве.- М.: Россельхозиздат, 1980.- с.
26. Сырых Н.Н. Эксплуатация сельских электроустановок.- М.: ВО Агропромиздат, 1986.- с.
28. Таран В.П. Техническое обслуживание электрооборудования в сельском хозяйстве.- М.: Колос, 1975.- с.
29. Таран В.П. и др. Справочник по эксплуатации электроустановок.- М.: Колос, 1983.- с.
30. Эксплуатация электрооборудования: Методические указания по изучению дисциплины и задание для курсовой работы / Сост. В.Г.Прищеп.- М.: ВСХИЗО, 1990.- 39 с.
31. Александров К.К., Кузьмина Е.Г. Электротехнические чертежи и схемы.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 288 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ . . . . .	3
УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ . . . . .	4
ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ . . . . .	5
1. Лабораторная работа №1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАСПОРТНЫХ ДАННЫХ И ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ . . . . .	6
2. Лабораторная работа №2. ИССЛЕДОВАНИЕ АНОР- МАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ . . . . .	8
3. Лабораторная работа №3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ И СПОСОБЫ ИХ СУШКИ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ . . . . .	11
4. Лабораторная работа №4. СУШКА ТРАНСФОРМАТОРА ПОТЕРЯМИ В СОБСТВЕННОМ БАКЕ . . . . .	11
5. Лабораторная работа №5. ИЗУЧЕНИЕ СТЕНДОВ ДЛЯ СБОРКИ И НАСТРОЙКИ ПУСКОЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ . . . . .	
6. Лабораторная работа №6. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГА- ТЕЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ И НАСТРОЙКА ЕГО С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНОГО СТЕНДА . . . . .	17
7. Лабораторная работа №7. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГА- ТЕЛЕЙ ТЕПЛОВЫМ РЕЛЕ И НАСТРОЙКА ЕГО С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНОГО СТЕНДА . . . . .	19
8. Лабораторная работа №8. ИСПЫТАНИЕ УНИВЕР- САЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ТИПА УЗ-1А ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ОТ АНОРМАЛЬ- НЫХ РЕЖИМОВ . . . . .	22
9. Лабораторная работа №9. КАЛИБРОВКА ПЛАВКИХ ВСТАВОК ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ . . . . .	
10. Лабораторная работа №10. ИСПЫТАНИЕ УСТРОЙСТВ ВСТРОЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАЩИТЫ ТИПА УВТЗ-1М . . . . .	26

<b>11. Лабораторная работа №11. ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ УСТАНОВОК С ТРЁХФАЗНЫМ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА . . . . .</b>	<b>66</b>

**ЮНУСОВ РУСТЕМ ФАИКОВИЧ**

# **МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

**к лабораторным работам по учебной дисциплине**

**«ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И  
ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС»**

**«ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ»**

**Редактор**

**Н.Ташходжаева**

*Разрешено к печати 25.11.2022.      Формат 60/84 1/16.  
Объём 4,5 п.л.      Тираж 10 экз.      Заказ № 0183.*

---

*Отпечатано в типографии ТИИИМСХ.  
Ташкент – 100000, ул. Кари Ниязова, 39.*



