

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.12.02 АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**Направление подготовки 35.03.06 Агроинженерия**

**Профиль подготовки «Электрооборудование и электротехнологии»**

**Форма обучения    заочная**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Конспект лекций.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Лекция № 1 Аварийные режимы электроприводов.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Лекция №2 Электронные устройства для защиты электродвигателей и электроприводов .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Лекция №3 Электронные устройства для защиты электродвигателей и электроприводов.....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Лекция № 4 Комбинированные устройства защиты .....</b>	<b>15</b>
<b>2. Методические материалы по выполнению лабораторных работ.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Лабораторная работа № ЛР-1 Изучение схемы управления асинхронным электродвигателем из двух мест с защитой от обрыва фазы.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Лабораторная работа № ЛР-2, 3 Защита от асимметрии напряжения и обратного хода.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3 Лабораторная работа № ЛР-4 Защита на базе цифровой техники .....</b>	<b>26</b>
<b>2.4 Лабораторная работа № ЛР-5 Стенды для испытания устройств защиты.....</b>	<b>36</b>

# **1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

## **1. 1 Лекция №1( 2 часа).**

**Тема: «Аварийные режимы электроприводов»**

### **1.1.1 Вопросы лекции:**

1. Понятие аварийного режима.
2. Основные причины и условия возникновения аварийных режимом при работе электродвигателей в составе электропривода.
3. Основные способы и мероприятия по предотвращению аварийных режимов.

### **1.1.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Понятие аварийного режима.

Аварийный режим работы электроустановки – режим работы, сопровождающийся отклонением рабочих параметров от предельно-допустимых значений, характеризующийся повреждением, выходу из строя электрооборудования, возможным перерывом электроснабжения или представляющий угрозу жизни людей.

• Аварийный режим работы электродвигателя, см. Аварийный режим работы электроустановки. Наиболее частыми причинами возникновения аварийного режима работы электродвигателя являются повреждения его обмоток, вызванные перегревом, пробоем изоляции или механические повреждения двигателя.

Перегрев обмоток электродвигателя возникает в случаях пропадания одной из питающих фаз, понижения питающего напряжения, слишком большой нагрузки на вал, либо его полная остановка, недостаточного охлаждения обмоток, высокой частоты включения двигателя или его запуск под слишком большой нагрузкой.

Пробой изоляции чаще всего случается при работе электродвигателя в условиях повышенной влажности, в результате увлажнения изоляции обмоток электродвигателя.

Частой причиной механического повреждения электродвигателя является износ подшипников, вызывающий осевой сдвиг ротора относительно статора.

Эксплуатация электродвигателей в аварийном режиме приводит к дорогостоящему ремонту или преждевременному выходу его из строя.

2. Основные причины и условия возникновения аварийных режимом при работе электродвигателей в составе электропривода.

1. Основные причины возникновения аварийных режимов на объектах электроэнергетики и электротехники, вызванные выходом из строя основного электротехнического оборудования.

1.1. Механическое повреждение ВЛ, опор, вызванное ветровыми нагрузками или гололедными явлениями.

1.2. Нарушение изоляции электрооборудования, вызванное естественным старением или термическим разрушением (хар-но для ЭД и КЛ).

1.3. Перекрытие изоляции вследствие прямых ударов молнии в провода ВЛ или ОРУ.

1.4. Ошибочные действия персонала подстанции при проведении оперативных переключений.

1.5. Перекрытие токоведущих частей животными и птицами.

- 3 Основные способы и мероприятия по предотвращению аварийных режимов.

Для того чтобы защитить электродвигатель от повреждений при нарушении нормальных условий работы, а также своевременно отключить неисправный двигатель от сети, предотвратив или ограничив тем самым развитие аварии, предусматриваются

средства защиты. Главным и наиболее действенным средством является электрическая защита двигателей, выполняемая в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ). В зависимости от характера возможных повреждений и ненормальных режимов работы различают несколько основных наиболее распространенных видов электрической защиты асинхронных двигателей.

#### **Защита асинхронных электродвигателей от коротких замыканий**

Защита от коротких замыканий отключает двигатель при появлении в его силовой (главной) цепи или в цепи управления токов короткого замыкания. Аппараты, осуществляющие защиту от коротких замыканий (плавкие предохранители, электромагнитные реле, автоматические выключатели с электромагнитным расцепителем), действуют практически мгновенно, т. е. без выдержки времени.

#### **Защита асинхронных электродвигателей от перегрузки**

Защита от перегрузки предохраняет двигатель от недопустимого перегрева, в частности и при сравнительно небольших по величине, но продолжительных тепловых перегрузках. Защита от перегрузки должна применяться только для электродвигателей тех рабочих механизмов, у которых возможны ненормальные увеличения нагрузки при нарушениях рабочего процесса.

Аппараты защиты от перегрузки (тепловые и температурные реле, электромагнитные реле, автоматические выключатели с тепловым расцепителем или с часовыми механизмом) при возникновении перегрузки отключают двигатель с определенной выдержкой времени, тем большей, чем меньше перегрузка, а в ряде случаев, при значительных перегрузках, - и мгновенно.

### **1. 2 Лекция №2( 2 часа).**

**Тема: «Электронные устройства для защиты электродвигателей и электроприводов.»**

#### **1.2.1 Вопросы лекции:**

1. Элементы и схемы систем защиты электроприводов на полупроводниковой основе.
2. Полупроводниковые элементы систем автоматики и защиты.

#### **1.2.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Элементы и схемы систем защиты электроприводов на полупроводниковой основе.

Защита необходима для предотвращения повреждения электрооборудования и устранения дальнейшего развития возникшего повреждения. Устройства защиты устанавливаются как в силовых электрических цепях, так и в цепях управления. Основными видами защит в электроприводе являются: защита от короткого замыкания, предотвращающая развитие повреждения, вызванного током короткого замыкания в силовой цепи или цепи управления; максимальная защита, срабатывающая даже при кратковременном превышении током установленного значения; защита двигателей от перегрузки током, длительно превышающим его номинальное значение; защита от самозапуска двигателей или нулевая защита от нежелательных последствий исчезновения и последующего восстановления напряжения в электрической сети; защита при обрыве цепи обмотки возбуждения двигателя; защита от перенапряжения, возникающего в электрических цепях; защита от выпадания синхронных двигателей из синхронизма. К защите относится блокирование от одновременного включения реверсивных и тормозных контакторов, а также контакторов, позволяющих получить определенную

последовательность действий в схемах управления и согласовать работу отдельных электроприводов.

#### Защита от короткого замыкания и максимальная защита.

Обеспечивают немедленное отключение цепи, в которой произошло короткое замыкание или чрезмерное увеличение тока. При коротких замыканиях она осуществляется с помощью плавких предохранителей (рис.7, а) или автоматических выключателей с электромагнитными расцепителями (рис.7, б). Максимальная токовая защита осуществляется на реле максимального тока (рис.7, в). Токовые катушки этих реле включаются в две фазы трехфазных двигателей, в один или два полюса двигателей постоянного тока до главных контактов контакторов. При этом перекрытия током силовых контактов реле обеспечивают защиту питающей сети. Контакты максимальных токовых реле отключают цепи управления аппаратов, подающих или обеспечивающих подачу напряжения на поврежденную часть схемы. Цепи управления при коротких замыканиях во многих случаях имеют отдельную защиту плавкими предохранителями или автоматами

Для защиты силовой цепи номинальный ток плавкой вставки  $I_{вст}$  и ток уставки  $I_{уст}$  (ток срабатывания) автоматов и максимальных токовых реле определяются следующими формулами: для двигателей постоянного тока и асинхронных двигателей с фазным ротором при продолжительном или кратковременном режиме ( $\Pi_B = 25\%$ ) с начальным пусковым током  $I_{пуск}$

$$I_{вст} \geq (1 \div 1,25) I_{ном}; I_{уст} = (1,2 \div 1,3) I_{пуск},$$

где  $I_{ном}$  — номинальный ток двигателя;

для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при нормальном пуске ( $tp < 5c$ )

$$I_{вст} \geq 0,4 I_{пуск};$$

при тяжелом пуске ( $tp > 10c$ ) или большой частоте включений

$$I_{вст} > (0,5 \div 0,6) I_{пуск};$$

независимо от условий пуска

$$I_{уст} = (1,3 \div 1,5) I_{пуск}.$$

Для защиты цепей управления

$$I_{вст} = I_{уст} = (2,5 \div 3) I_{кат}$$

где  $I_{кат}$  — суммарный ток наибольшего количества катушек одновременно включенных аппаратов.

## 2. Полупроводниковые элементы систем автоматики и защиты.

По электрическим сетям номинальное напряжение должно подаваться на все три фазы. Как правило, вблизи низковольтных трансформаторов так и происходит. При полной нагрузке сети для предотвращения напряжения на отдельных фазах все однофазные агрегаты должны быть распределены по трем фазам. Но поскольку однофазные потребители часто работают в режиме «включено-выключено», неравномерная загрузка фаз возможна. Это вызывает асимметрию тока, причиной которой могут стать также изношенность либо окисление контактов выключателей. На случай асимметрии в питающей сети нужно до включения электродвигателя в сеть проконсультироваться с представителями предприятия электроснабжения.

Максимальный КПД электродвигателя и наиболее длительный срок его службы достигаются при минимальной асимметрии тока. При подключении двигателя к трехфазной сети следует выбрать такую последовательность фаз (соблюдая правильное направление вращения насоса), чтобы обеспечить наименьшее значение асимметрии. Для этого производят замеры тока во всех фазах цепи при различных способах подключения (рис. 6). Значение асимметрии рассчитывается по следующей формуле:

$$I = 100 \cdot (I_{фазы\ макс} - I_{средн}) / I_{средн}, \%$$

где  $I_{средн}$  — среднее, а  $I_{фазы\ макс}$  — максимальное значение фазного тока.

Асимметрия тока при выбранном чередовании фаз не должна превышать 5 %.

Компания Grundfos предлагает в числе принадлежностей для насосных систем модуль CU 3, использование которого позволяет осуществлять электроснабжение насоса от сети, асимметрия тока в которой достигает 10 %. Модуль также обеспечивает (при использовании пульта дистанционного управления R 100) индикацию текущих параметров электроснабжения. Это облегчает выбор оптимального способа подключения.

Отметим: небольшая асимметрия напряжения приводит к большой асимметрии тока, что в свою очередь вызывает неравномерный нагрев обмоток статора и возникновение горячих зон и точечного нагрева. Эта связь графически показана на рис. 7.

### **1. 3 Лекция №3( 3 часа).**

**Тема: «Электронные устройства для защиты электродвигателей и электроприводов»**

#### **1.3.1 Вопросы лекции:**

1. Элементы и схемы систем защиты электроприводов на полупроводниковой основе.
2. Полупроводниковые элементы систем автоматики и защиты.
3. Тиристоры, симисторы, транзисторы, диоды силовые, фотодиоды, светодиоды, терморезисторы.
4. Датчики контролируемых величин.

#### **1.3.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Элементы и схемы систем защиты электроприводов на полупроводниковой основе.

Теория регулируемого электропривода, насчитывающая уже ни один десяток, лет, постоянно совершенствуется вместе с совершенствованием конструктивных решений. Особенно интенсивное развитие она получила в последнее время благодаря усовершенствованию традиционных и созданию новых силовых управляемых полупроводниковых приборов, интегральных схем, развитию цифровых информационных технологий и разработке разнообразных систем микропроцессорного управления.

Современные компьютерные технологии, в основе которых лежат прикладные пакеты, предоставляют возможность более глубокого изучения вопросов, связанных с проектированием полупроводникового электропривода. Они позволяют качественно изменить и существенно улучшить технологию изучения, перевести ее в виртуальную действительность, осуществить в этой виртуальной лаборатории необходимые исследования с получением количественных результатов.

В настоящее время имеется обширная литература по теории электропривода. С другой стороны, имеется литература по прикладным пакетам. Однако практически отсутствуют работы, в которых теоретические вопросы регулируемого электропривода исследовались бы с привлечением компьютерных прикладных программ.

Правда, в последнее время появилось много хороших книг, посвященных прикладным техническим пакетам, но в основе их лежит сам пакет; конкретные примеры, приведенные в этих монографиях, призваны демонстрировать возможности пакета и компьютера.

Литература по силовым полупроводниковым преобразователям, предназначенным для управления электрическими машинами в системах электропривода, нуждается в

постоянной корректировке, поскольку совершенствуются предмет и методы исследования. Силовые полупроводниковые преобразователи, существенно улучшая энергетику, позволяют реализовать (конечно, при современном микропроцессорном управлении) качественно новые способы регулирования электрическими машинами. При этом классические машины при управлении от полупроводникового преобразователя приобретают новые свойства и качественно новые, лучшие характеристики. Силовые полупроводниковые преобразователи позволяют также реализовать новые конструктивные и технологические решения, обладающие свойствами, недоступными классическому электроприводу.

Современный электропривод с использованием полупроводниковых узлов (далее – «полупроводниковый электропривод») состоит из трех основных отличных частей:

1.Силовая преобразовательная часть, содержащая силовой полу проводниковый преобразователь. Основная функция заключается в преобразовании электрической энергии между источником питания и электрическим двигателем.

2.Электромеханическая часть, содержащая рабочий механизм, соединенный посредством механической передачи с электрическим двигателем.

3.Информационная (управляющая) часть, служащая для управления силовым полупроводниковым преобразователем и обеспечивающая заданные свойства электроприводу.

Представим очень короткий обзор современных прикладных пакетов, которые могут быть использованы для проектирования полупроводникового электропривода.

В первую очередь следует отметить пакет MatLab с широко развитыми дополнениями (Toolboxes), из которых ToolboxSimulinkнаиболее приспособлен для анализа и синтеза различных систем.

Пакет Simulink со своими дополнениями – основной инструмент изучения различных электромеханических систем, используемый в данной монографии. Я не встретил ни одной задачи, связанной с исследованием систем электропривода, которую нельзя было бы решить в этом пакете.

Simulink предоставляет исследователю самые различные возможности, начиная от структурного (математического) представления системы и кончая генерированием кодов для программирования микропроцессора в соответствии со структурной схемой модели.

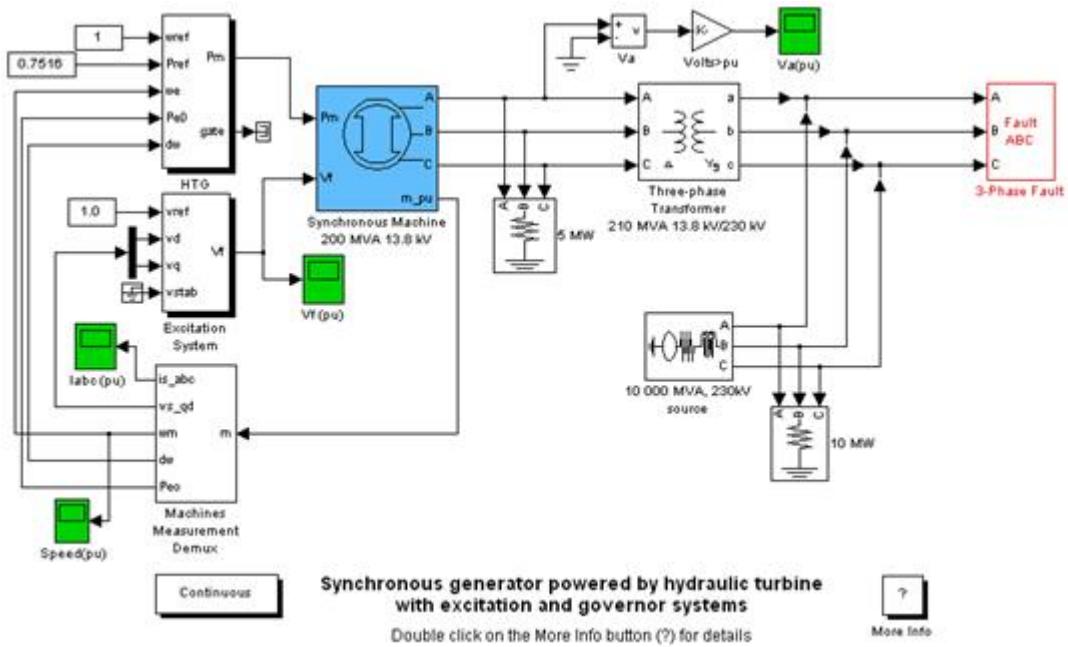


Рисунок 1. Виртуальная модель энергосистемы в пакете Simulink  
вал двигатель электропривод преобразователь

Представленная на рис. 1 модель (файл psbturbine из библиотеки Powerdemos) наглядно демонстрирует уровень сложности задач, которые можно исследовать в пакете Simulink. Это модель электромеханической системы мощностью 220 МВА, состоящей из гидротурбины (блок HTG), синхронного генератора (блок SynchronousMachine), трёхфазного трансформатора (блок Three-PhaseTransformer) и различного вида нагрузок. Система работает параллельно с энергосетью мощностью 10 000 МВА. Модель (рис. 1) позволяет исследовать переходные и установившиеся режимы гидроэлектростанции с синхронным генератором, имеющим систему управления возбуждением (блок ExcitationSystem).

## 2. Полупроводниковые элементы систем автоматики и защиты.

Полупроводниковая элементная база. Общие сведения. Она условно может быть разделена на неинтегральную и интегральную. Неинтегральная база состоит из отдельных типовых полупроводниковых элементов (диодов, транзисторов и др.), резисторов, конденсаторов и соединений между ними. Такое исполнение снижает надежность ее функционирования, поэтому такие устройства защиты сейчас не находят широкого применения. Неинтегральная полупроводниковая элементная база позволяет улучшить ряд параметров электромеханических реле, в том числе реле тока РТ-40 и реле напряжения РН-50. По сравнению с ними полупроводниковые реле имеют следующие преимущества: а) более высокое быстродействие; б) значительно меньшую потребляемую мощность; в) удобство в эксплуатации; г) более высокий коэффициент возврата; д) значительно меньшие погрешности при срабатывании.

Распространение получили реле тока для защит МТЗ-М (максимальная токовая защита с магнитным ТТ) и ТЗК-1 с магнитными трансформаторами тока. Реле РТЗ-50 используются в защитах от замыкания на землю в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью. Кроме того, нашли применение реле направления мощности и реле сопротивления. На вход реле сопротивления подводится комплекс напряжения и комплекс тока, характеристической величиной является комплекс сопротивления . Как правило, применяют минимальное реле сопротивления, срабатывающее при снижении значения до заданного сопротивления срабатывания .

Полупроводниковая интегральная элементная база (полупроводниковые интегральные микросхемы) является более совершенной и представляет собой сложное полупроводниковое устройство, состоящее из диодов, транзисторов, резисторов и конденсаторов, расположенных в небольшом объеме полупроводникового материала или на его поверхности путем выращивания кристаллов и напыления пленок. Использование полупроводниковых интегральных микросхем в устройствах РЗиА позволяет резко сократить число внешних проводников, упростить монтажную схему, повысить их быстродействие, уменьшить массу и габариты, значительно сократить потребление мощности, а отсутствие движущихся частей и контактов позволяют выполнить релейную защиту с более высокой надежностью по сравнению с электромеханическими системами. В зависимости от функционального назначения интегральные микросхемы делят на аналоговые и цифровые. К аналоговым относят операционные усилители (ОУ), преобразующие непрерывные сигналы. Они имеют широкие возможности для использования в измерительных органах. На основе цифровых микросхем выполняют логическую часть устройств релейной защиты и автоматики. Они преобразуют и обрабатывают дискретные сигналы, выраженные в двоичном или другом цифровом коде.

В устройствах релейной защиты и автоматики применяются в основном полупроводниковые интегральные микросхемы со средней степенью интеграции: триггеры, регистры, сумматоры, операционные усилители и др. Они содержат от 10 до 100 различных элементов в одном корпусе. Из-за небольшой степени интеграции операционных усилителей и логических интегральных микросхем такие устройства релейной защиты и автоматики тоже содержат достаточно большое количество различных узлов и блоков. Среди измерительных реле на основе аналоговых интегральных микросхем с одной действующей электрической величиной используются следующие: – реле с независимыми выдержками времени: реле тока РСТ-14 (реле максимального тока статическое), реле напряжения РСН-14 – РСН-17; – реле с зависимыми выдержками времени, устанавливаемые в блоки токовой защиты на автоматических выключателях ВА-50 (выключатель автоматический). Среди измерительных реле на основе аналоговых интегральных микросхем с двумя действующими электрическими величинами применяются следующие: – реле направления мощности РМ-11 (реле мощности); – реле сопротивления (блок реле сопротивления) для комплектного устройства ЯРЭ-2201 (ящик полупроводниковых устройств для энергетических объектов), БРЭ-2801 (блок полупроводниковый для энергетических объектов); – дифференциальные реле тока с торможением, предназначенное для защиты понижающих трансформаторов; – реле сдвига фаз серии РСФ-11 (реле сдвига фаз), применяемое в схемах АПВ ЛЭП с двусторонним питанием

3 Тиристоры, симисторы, транзисторы, диоды силовые, фотодиоды, светодиоды, терморезисторы.

Полупроводниковый диоды в силу своих свойств имеют некоторые разновидности, которые мы и рассмотрим в этом разделе:

Светодиод Некоторые полупроводники обладают интересным свойством: при прохождении через их р-п переход, они начинают излучать свет.

Цвет свечения (длина волны максимума спектра излучения) определяется типом используемых полупроводниковых материалов, образующих р-п-переход.

По сравнению с привычной нам всем лампой накаливания светодиоды обладают рядом преимуществ:

1. Светодиоды не имеют никаких стеклянных колб и нитей накаливания, что обеспечивает высокую механическую прочность и надежность(ударная и вибрационная устойчивость)

2. Отсутствие разогрева и высоких напряжений гарантирует высокий уровень электро- и пожаробезопасности

3. Безынерционность делает светодиоды незаменимыми, когда требуется высокое быстродействие

4. Миниатюрность

5. Долгий срок службы (долговечность)

6. Высокий КПД,

7. Относительно низкие напряжения питания и потребляемые токи, низкое энергопотребление

8. Большое количество различных цветов свечения, направленность излучения

9. Регулируемая интенсивность

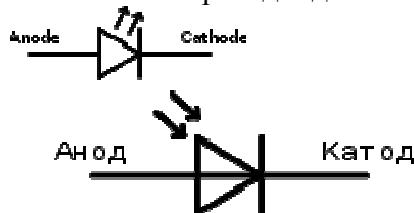
Вкратце каким образом устроен светодиод, как он работает можно почитать [здесь](#) на схемах светодиод обозначается так:

Фотодиод Еще один оптический прибор на основе р-п перехода. Обычно используется в двух видах:

\* как гальванический элемент: преобразовывает получаемую световую энергию в электрическую.

\* как фоторэле: "открывается" (увеличивает проводимость) при увеличении освещенности кристалла. Получил большее распространение в различных датчиках.

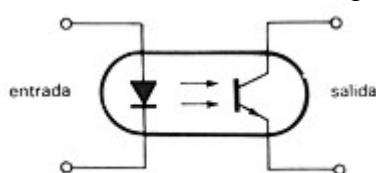
Обозначение фотодиода на схемах:



Электронный элемент, в основе которого используется фотодиод в паре со светодиодом получил название оптопара (или оптрон) очень широко применяется в технике в цепях, где требуется гальваническая развязка. Например используется в импульсных блоках питания для организации обратной связи между входом и выходом.

В качестве фотоэлемента в оптроне также применяются фототранзисторы или фоторезисторы

Схемное обозначение оптрана:



Еще один элемент на основе полупроводникового диода- стабилитрон. Его основное предназначение- поддержание напряжения источника питания на заданном уровне. Происходит это следующим образом:

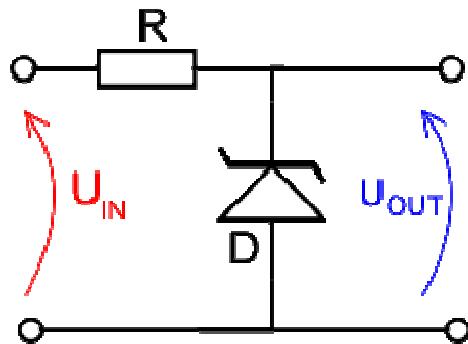
Одним из основных параметров полупроводникового диода является обратное напряжение пробоя. При превышении максимального уровня напряжения он "пробивается"- начинает работать в режиме очень малого сопротивления.

Но в отличие от диода, который после электрического пробоя можно смело выбросить, стабилитроны просто открываются при определенном напряжении (порог срабатывания у каждого стабилитрона имеет фиксированное значение) и закрываются при понижении этого напряжения.

Это свойство с успехом используется в электронных устройствах для поддержания (стабилизации) напряжения на одном уровне: стабилитрон включается в цепь в обратном

направлении и при увеличении допустимого напряжения просто открывается и весь "излишек" пропускает через себя.

Конечно, в этом случае необходима установка в цепь баластного резистора (разница напряжений должна же где-то "осаживаться"!). Такая схема называется простейший стабилизатор:



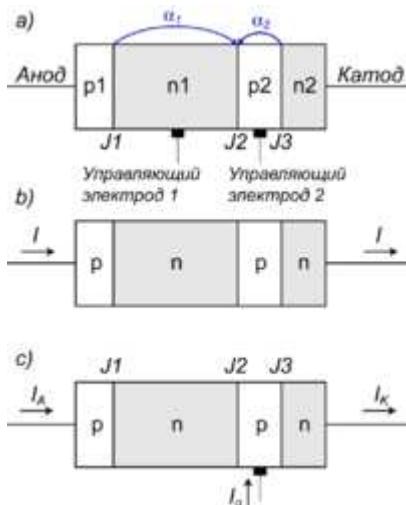
Так- же во многих устройствах в цепях питания стабилитроны довольно часто используются просто в качестве предохранителей: при превышении допустимого значения происходит пробой стабилитрона, что защищает остальные, более дорогостоящие, элементы от выхода их из- строя.

Управляемые диоды: тиристоры, симисторы

По- сути тиристор является ключом: то есть под действием управляющего напряжения отпирается или запирается.

В основном используется в устройствах автоматики, где требуется управление мощными устройствами при посредствии слабого сигнала.

Устройство тиристора представляет собой четырёхслойный полупроводник структуры p-n-p-n, содержащий три последовательно соединённых p-n-перехода. Крайние выводы, так- же как и в обыкновенном полупроводниковом диоде, называются анод и катод.



Обычно тиристоры бывают двух разновидностей: пропускающие ток в одном направлении (от анода к катоду) и пропускающие ток в обоих направлениях.

Прибор, пропускающий в двух направлениях называется симистор (или триак)

Обозначение тиристора на схемах:



#### 4. Датчики контролируемых величин.

Датчики (измерительные преобразователи) являются основным средством измерения, преобразующим измеряемую или контролируемую физическую величину (давление, усилие, температуру и т.д.) в выходной, обычно электрический сигнал, предназначенный для дальнейшей регистрации, обработки и передачи к исполнительному механизму. Первичный преобразователь, непосредственно воспринимающий параметр состояния, т. е. естественную входную величину, называется чувствительным элементом датчика. Если требуется получить сигнал о параметре в другой, более удобной для использования форме, то в системе датчика может устанавливаться второй нормирующий преобразователь, приводящий выходной сигнал в унифицированный.

Датчики классифицируют по ряду признаков: – по назначению — силовые, скоростные, температурные и др.; – по принципу действия — механические, электрические, тепловые, акустические, оптические, радиоактивные; – по способу преобразования неэлектрических величин в электрические — активные (генераторные) и пассивные (параметрические).

В генераторных датчиках энергия входного сигнала преобразуется (без участия вспомогательных источников энергии) в электрическую энергию выходного сигнала (ток, напряжение, электрический заряд). В параметрических датчиках под действием входного сигнала изменяется какой-либо собственный параметр датчика (емкость, сопротивление, индуктивность). При этом схема включения таких датчиков всегда имеет внешний источник питания.

По конструкции и принципу действия чувствительного элемента датчики подразделяют на контактные и бесконтактные. При этом в контактных датчиках чувствительный элемент взаимодействует непосредственно с контролируемым объектом, а в бесконтактных это взаимодействие отсутствует. К последним относятся фотоэлектрические, ультразвуковые, радиоактивные и специальной конструкции щуповые датчики.

Работа датчиков определяется их статическими, динамическими и частотными характеристиками и оценивается величиной входных и выходных сигналов, чувствительностью, инерционностью и погрешностью. Так как измерение одной и той же физической величины может выполняться с помощью различных датчиков, то их выбор должен обеспечить технические требования, предъявляемые к разрабатываемой системе автоматики технологическим процессом, конструкцией и спецификой эксплуатации машины.

Рассмотрим основные разновидности датчиков, используемых в строительных и дорожных машинах и оборудовании.

К наиболее простейшим устройствам относятся конечные выключатели, ограничивающие линейные или угловые перемещения механизма. В первом случае (рис. 10.6, а) при достижении машиной (башенным, козловым, мостовым кранами) во время перемещения по подкрановым путям крайнего положения линейка ограничителя нажимает им рычаг конечного выключателя и, перемещая его, отключает контактную

группу, прерывая подачу электроэнергии к механизму передвижения. Во втором случае (рис. 10.6, б) перемещение и укладка каната на барабане грузоподъемной машины производится с помощью шпиндельного выключателя. Он состоит из ходового винта, установленного в опорах и соединенного с приводом барабана зубчатой (или цепной) передачей. При вращении винта гайка с удерживаемым канатом перемещается вдоль него в одну или другую сторону до момента наезда на переключатели, в результате чего происходит отключение управляющей цепи и последующее включение с направлением движения в обратную сторону.

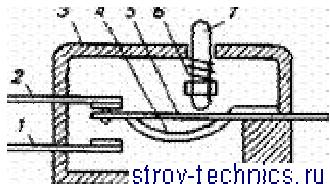


Рис. 10.7. Микропереключатель

В автоматических системах широко используются и микропереключатели (рис. 10.7). Они состоят из корпуса, в котором закреплены пластины неподвижных замыкающего и размыкающего контактов, а также подвижного контакта и работающая совместно с ним фигурная пружина. Толкатель оснащен возвратной пружиной и приводится в движение рабочим органом, положение которого контролируется, при достижении им конечного положения. При этом второй контакт обычно используется для включения механизма реверса.

Из генераторных преобразователей наибольшее распространение имеют резистивные преобразователи неэлектрических величин, действие которых основано на изменении омического сопротивления от воздействия изменяемой величины. К таким преобразователям относятся различные конструкции потенциометрических датчиков, преобразующих линейные и угловые перемещения в электрический сигнал. Они выполняются в виде переменного сопротивления, т. е. представляют различные конструкции реостатов, подвижный контакт которых связан с преобразуемым элементом. Эти преобразователи состоят из каркаса прямоугольного, круглого или кольцевого сечения (рис. 10.8, а, б), изготовленного на керамики, пластмасс или алюминия, покрытого токонепроводящим лаком. На каркас может наматываться эмалированная или оксидированная и покрытая лаком проволока из константана, никрома, манганина, а также нанесен слой полупроводника или металлической пленки. Подвижная токосъемная щетка скользит по защищенной контактной дорожке (непосредственно по проволоке или по соединенным с ней контактам).

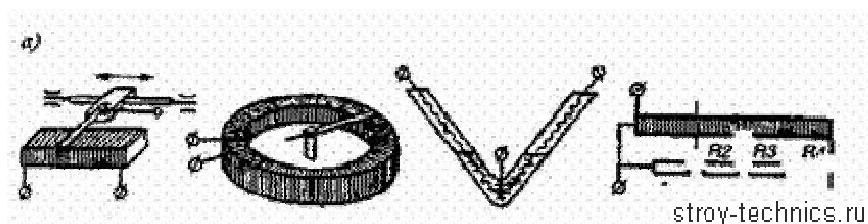
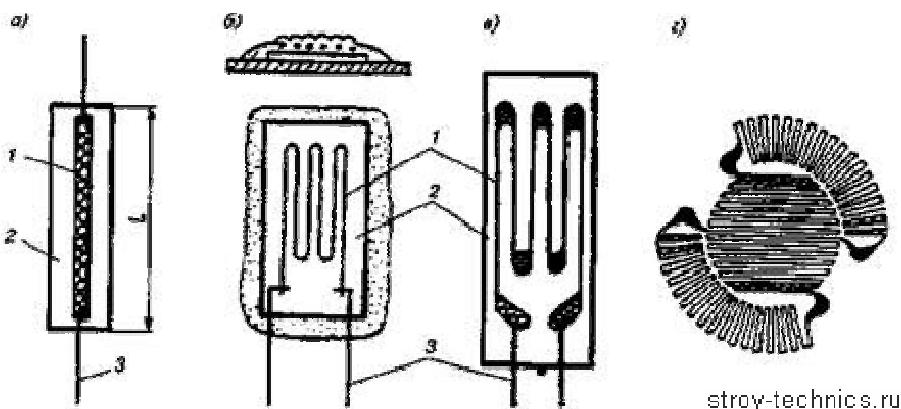


Рис. 10.8. Реостатные преобразователи

Наряду с рассмотренными преобразователями при измерении углов наклона конструкций и рабочих органов строительных машин используются также и преобразователи, в которых высокое сопротивление шунтируется ртутью или проводящей жидкостью (рис. 10.8, в). При необходимости получения нелинейной характеристики в системах автоматики применяются линейные преобразователи с шунтирующими сопротивлениями (рис. 10.8, г), а также функциональные преобразователи с профилированным или ступенчатым каркасом, позволяющим получать

переменные резисторы с квадратичной, логарифмической или другой функциональной зависимостью.

При значительных изменениях давлений, а также для измерений деформаций в элементах конструкций и узлов машин используются тензометрические и пьезоэлектрические преобразователи. Их работа основана на явлении тензометрического эффекта, т. е. на изменении электрического сопротивления чувствительного элемента от его деформации. В качестве чувствительных элементов, называемых тензолитами, в датчиках используются стержни из порошка сажи, графита или угля, наклеенные на полоске бумаги (рис. 10.9, а). Однако наибольшее распространение получили датчики с проволочными элементами из константана-никрома или фольги. Проволока диаметром 0,02...0,05 мм или фольга с медными выводами наклеивается в виде прямоугольных или кольцевых петель на бумагу или пленку из изоляционного материала (рис. 10.9, б, в, г). Тензопреобразователи приклеиваются на поверхность детали, деформация которой измеряется, и с помощью соединительных проводов подключаются к измерительному электрическому мосту. Схема подключения зависит от количества тензодатчиков и вида измеряемой деформации (растяжение, сжатие, изгиб, кручение). При этом, если деталь или конструкция сжимается или растягивается, то вместе с ней деформируются и наклеенные датчики, изменяющие величину своего сопротивления. Тензодатчики обычно включаются по мостовой схеме.



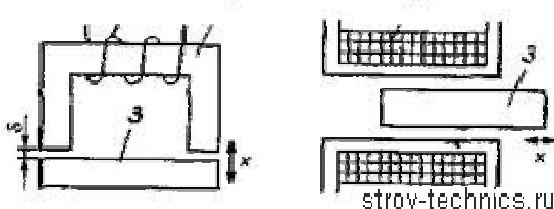
stroy-technics.ru

Рис. 10.9. Тензометрические преобразователи

В последнее время широкое применение получили полупроводниковые тензодатчики из германия и кремния, чувствительность которых в 50... 100 раз выше проволочных, а значительный уровень выходного сигнала позволяет обходиться без усиительной аппаратуры. Однако они имеют и существенные недостатки, одним из которых является значительно пониженные температурные характеристики.

С помощью пьезоэлектрических преобразователей механическая энергия преобразуется в электрическую в связи с возникновением электрических зарядов на поверхностях кристаллов некоторых диэлектриков (например, титаната бария) при механическом воздействии на них.

Пьезоэлектрический датчик усилий (рис. 10.10) представляет собой корпус, в котором расположены пьезоэлектрические пластины. Усилия  $F$  передаются на пластины через опорные плиты, а полученный сигнал снимается с металлических обкладок.

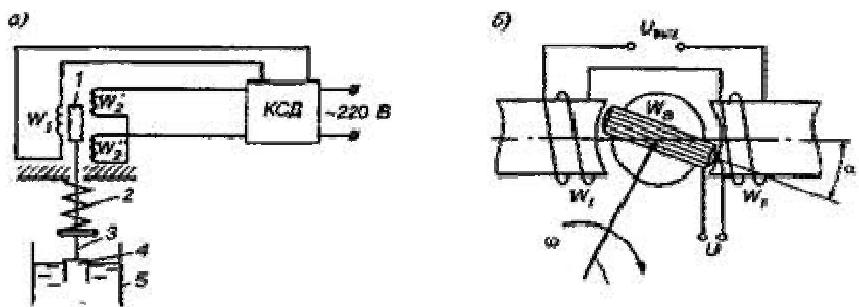


stroy-technics.ru

Рис. 10.11. Простые индуктивные преобразователи

Преобразователь состоит из магни-топровода с обмоткой и якоря, соединенного с рабочим органом машины или ОГП кранов. Изменение воздушного зазора, представляющего входную величину, изменяет, в свою очередь, индуктивность и сопротивление обмотки дросселя. При этом увеличение зазора уменьшает индуктивность и сопротивление обмотки и ведет к увеличению тока.

Дифференциальные трансформаторы с подвижным сердечником используются в основном в электрических измерительных преобразователях с силовой компенсацией в качестве индикатора рассогласования. Такой преобразователь представляет цилиндрический каркас с перемещающимся сердечником. По всей длине каркаса навита первичная обмотка  $W_p$ , поверх которой симметрично расположены две вторичные обмотки  $W_1$  и  $W_2$ , выполненные в виде двух одинаковых катушек. Индикатор уровня типа ДИУ-СЧА (рис. 10.12, а) устроен и работает следующим образом. Сердечник, перемещающийся внутри катушек с обмотками, связан посредством жесткой тяги с поплавком 4, находящимся в баке с контролируемой жидкостью. Для уравновешивания выталкивающей силы при изменении уровня жидкости и соответствующего перемещения поплавка и сердечника служит пружина. При положении сердечника в средней части трансформатора во вторичных обмотках индуцируются одинаковые электродвижущие силы (ЭДС) и разность потенциалов  $AU$  на выходе трансформатора равна нулю.



[stroy-technics.ru](http://stroy-technics.ru)

Рис. 10.12. Дифференциальные трансформаторы с подвижным сердечником

## 1. 4 Лекция №4( 2 часа).

### Тема: «Комбинированные устройства защиты»

#### 1.4.1 Вопросы лекции:

1. Комбинированные устройства управления и защиты электроприводов.
2. Системы защиты от асимметрии напряжения и тока.
3. Системы защиты от перегрузки и недогрузки электродвигателей.
4. Схемы защиты от понижения сопротивления изоляции.

#### 1.4.2 Краткое содержание вопросов:

1. Комбинированные устройства управления и защиты электроприводов.

Для управления электроприводами используется разнообразная аппаратура, посредством которой реализуется информационный канал электропривода, предназначенный для управления параметрами движения рабочего органа машины в соответствии с требованиями технологического процесса (см. раздел 1.3). Совокупность

аппаратов управления и датчиков электрических, механических и технологических параметров образует информационно-управляющее устройство электропривода.

Для коммутации силовых электрических цепей, устройств защиты и блокировок применяются, как правило, контактные электрические аппараты. Для выполнения логических функций управления, оптимизации параметров движения электропривода все в большей степени используются устройства и системы управляющей вычислительной техники: микропроцессорные средства и системы, программируемые контроллеры и промышленные компьютеры.

Электромеханические аппараты управления электроприводами различаются по их функциям, величине коммутируемого тока и напряжения.

По выполняемым функциям:

- аппараты защиты: автоматические выключатели, реле максимального и минимального тока, плавкие предохранители, тепловые реле;
- коммутационная аппаратура, предназначенная для оперативной коммутации электрических цепей; основными видами этих аппаратов являются пускатели и контакторы;
- реле управления: промежуточные, реле времени, тока, напряжения;
- аппараты оперативного управления: кнопки, переключатели, командоконтроллеры.

Автоматические выключатели (автоматы). Предназначены для защиты электрических линий и приемников электроэнергии от токов короткого замыкания и токов перегрузки.

Отключение автоматов происходит под действием расцепителей: максимальных, тепловых и независимых. Защита от токов короткого замыкания осуществляется максимальными расцепителями электромагнитного типа. Тепловые расцепители служат для защиты от токов перегрузки. В настоящее время используются отечественные автоматические выключатели серий АК-63, АЕ-1000, АЕ-2000, АЗ 100, АЗ700, ВА, Электрон.

Автоматические выключатели выбираются по номинальному току, составу расцепителей и номинальному току расцепителей.

Для силовых электрических аппаратов принят ряд номинальных значений токов: 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000А и более.

Электромагнитные контакторы. Служат для оперативного дистанционного включения и отключения силовых электрических цепей. Контакторы отличаются по роду тока (постоянного и переменного); по числу главных контактов (одно и двухполюсные постоянного тока, трехполюсные переменного тока); по напряжению питания катушки управления; числу блок-контактов и другим параметрам. Так как контакторы коммутируют значительный по величине ток в цепях, содержащих индуктивности, они снабжаются устройствами гашения дуги на главных контактах.

Промышленностью выпускаются контакторы постоянного тока одно и двухполюсные серий КП и КПД на токи от 25 до 250А и контакторы постоянного тока однополюсные для частых включений серий КПВ600, КПВ620 на токи от 100 до 630 А. Контакторы переменного тока серий КТ6000, КТ7000, КТП600 выпускаются на токи от 63 до 1000А и имеют от двух до 5 (чаще всего 3) главных контактов.

Контакторы серии МК на токи до 160А используют в цепях постоянного и переменного тока с катушкой управления только на постоянном токе.

Магнитные пускатели. Это специализированные контакторы, предназначенные для управления асинхронными короткозамкнутыми двигателями.

В состав пускателя входят: коммутирующее устройство в виде контактора (может быть нереверсивным и реверсивным, т.е. содержать 2 контактора), тепловые реле защиты, иногда сигнальные лампы и кнопки управления). Выпускаемые магнитные пускатели отличаются на нереверсивные и реверсивные, по величине номинального тока на 6

габаритов (10, 25, 40, 63, 100, 160А), наличию тепловых реле и других встраиваемых элементов.

В настоящее время промышленностью выпускаются магнитные пускатели серий ПМЛ, ПАЕ, ПА, ПМЕ и другие.

## 2. Системы защиты от асимметрии напряжения и тока

По электрическим сетям номинальное напряжение должно подаваться на все три фазы. Как правило, вблизи низковольтных трансформаторов так и происходит. При полной нагрузке сети для предотвращения напряжения на отдельных фазах все однофазные агрегаты должны быть распределены по трем фазам. Но поскольку однофазные потребители часто работают в режиме «включено-выключено», неравномерная загрузка фаз возможна. Это вызывает асимметрию тока, причиной которой могут стать также изношенность либо окисление контактов выключателей. На случай асимметрии в питающей сети нужно до включения электродвигателя в сеть проконсультироваться с представителями предприятия электроснабжения.

Максимальный КПД электродвигателя и наиболее длительный срок его службы достигаются при минимальной асимметрии тока. При подключении двигателя к трехфазной сети следует выбрать такую последовательность фаз (соблюдая правильное направление вращения насоса), чтобы обеспечить наименьшее значение асимметрии. Для этого производят замеры тока во всех фазах цепи при различных способах подключения (рис. 6). Значение асимметрии рассчитывается по следующей формуле:

$$I = 100 \cdot (I_{\text{фазы макс}} - I_{\text{средн}}) / I_{\text{средн}}, \%$$

где  $I_{\text{средн}}$  – среднее, а  $I_{\text{фазы макс}}$  – максимальное значение фазного тока.

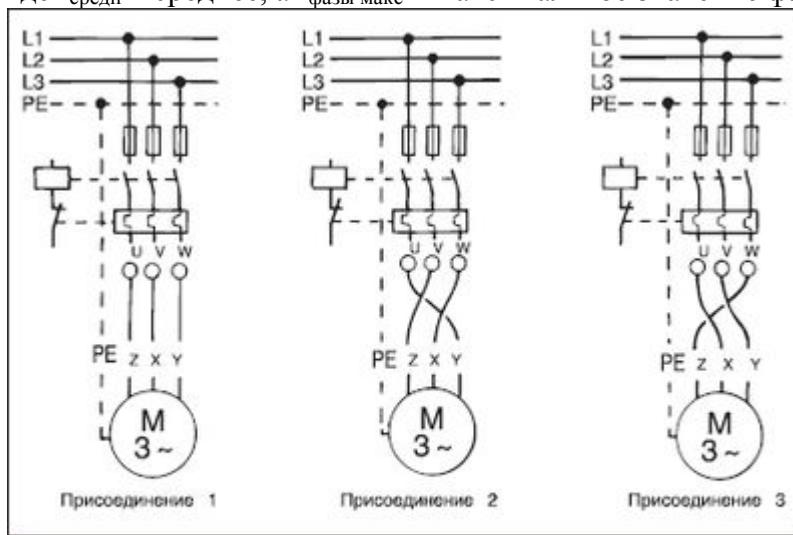


Рис. 6. В определенных случаях подкорректировать асимметрии тока в обмотках можно переключением фазных проводов

Асимметрия тока при выбранном чередовании фаз не должна превышать 5 %.

Компания Grundfos предлагает в числе принадлежностей для насосных систем модуль CU 3, использование которого позволяет осуществлять электроснабжение насоса от сети, асимметрия тока в которой достигает 10 %. Модуль также обеспечивает (при использовании пульта дистанционного управления R 100) индикацию текущих параметров электроснабжения. Это облегчает выбор оптимального способа подключения.

Отметим: небольшая асимметрия напряжения приводит к большой асимметрии тока, что в свою очередь вызывает неравномерный нагрев обмоток статора и возникновение горячих зон и точечного нагрева. Эта связь графически показана на рис. 7.

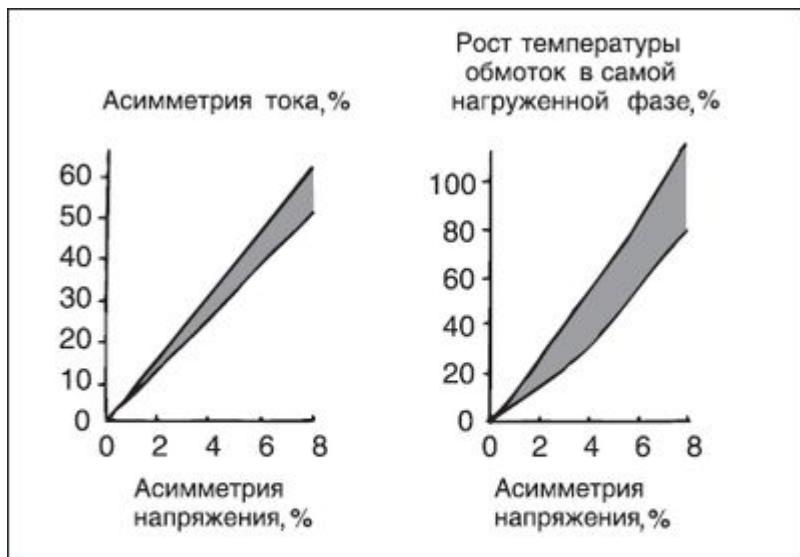


Рис. 7. Зависимость между асимметрией тока, напряжения и нагревом обмоток двигателя

### 3 Системы защиты от перегрузки и недогрузки электродвигателей

Недогрузка двигателя ведет к ухудшению эксплуатационных показателей привода, так как при этом уменьшается КПД двигателя, а при переменном токе, кроме того, уменьшается и коэффициент мощности. Желательно поэтому применять такой способ регулирования, при котором двигатель был бы по возможности полностью загружен при всех угловых скоростях.

Недогрузка двигателя снижает его коэффициент полезного действия.

При недогрузке двигателя стоимость установки возрастет, снизятся коэффициент полезного действия и коэффициент мощности.

Если перегрузка или недогрузка двигателя длится менее 20 с, тепловые реле не срабатывают и установка не отключается.

Коэффициент мощности  $\cos \varphi$  при недогрузке двигателя резко падает вследствие того, что при холостом ходе и малых нагрузках двигатель потребляет реактивный намагничающий ток, отстающий по фазе от напряжения на угол, близкий к 90°, поэтому всегда следует загружать двигатель в соответствии с его номинальной мощностью. Коэффициент мощности асинхронного двигателя при холостом ходе не превышает 0,2, однако с ростом нагрузки он быстро увеличивается и достигает наибольшего значения (0,84 - 0,9) при нагрузке, близкой к номинальной.

При недогрузке двигатель работает с опережающим током, причем величина реактивной мощности в этом случае зависит от степени недогрузки двигателя.

Ячейка ЗСП (защита от срыва подачи) выполняет следующие функции: формирование приказов на отключение и управление устройством сигнализации о недогрузке двигателя.

Величина коэффициента мощности асинхронных двигателей и трансформаторов зависит от степени их загрузки. Недогрузка двигателей и трансформаторов значительно снижает их коэффициент мощности. Низкий коэффициент мощности имеют также сварочные трансформаторы в связи с переменной нагрузкой.

Следовательно, одним из способов увеличения коэффициента мощности является нагрузка двигателей на полную мощность. При недогрузке двигателей, особенно при холостом ходе, коэффициент мощности уменьшается.

Здесь, так же как и в конденсаторных двигателях, рабочая емкость рассчитывается на определенную мощность нагрузки, например номинальную, поэтому при колебаниях

нагрузки рабочие свойства двигателя ухудшаются. Возможны случаи опасной перегрузки или недогрузки двигателя, при которых обмотка той или иной фазы выгорает.

Это положение известно и учитывается в эксплуатации. Однако к вредным последствиям приводит и значительная недогрузка двигателя. При этом значительная доля потребляемой из сети мощности бесполезно теряется в самом двигателе. Поэтому необходимо стремиться заменять недогруженные двигатели двигателями меньшей мощности и исключать длительную работу двигателей вхолостую.

Из табл. 6 видно, что снижение мощности в процентах наиболее значительно на низких скоростях движения и возрастает по величине и неблагоприятности нагрузки на ползун. Очевидно, что эффект снижения пропорционален недогрузке двигателя.

На рис. 96 представлены кривые зависимости реактивной мощности, отдаваемой синхронизированным двигателем в сеть, от коэффициента нагрузки и номинального коэффициента мощности. Эти кривые показывают, что по мере увеличения недогрузки двигателя растет относительная величина реактивной мощности, отдаваемой им в сеть.

#### 4 Схемы защиты от понижения сопротивления изоляции

Снижение сопротивления изоляции от 00 до 3 ком при включенном асимметре приводит к снижению отключающего переходного сопротивления менее чем в 2 раза и повышению пограничного тока замыкания на землю только в 15 раза.

Снижение сопротивления изоляции больше чем на 50 % от первоначальных величин недопустимо.

Снижение сопротивления изоляции за время капитального ремонта более чем на 40 % является недопустимым.

Снижение сопротивления изоляции свидетельствует об ухудшении общего ее состояния или появлении каких-то дефектов. При регистрации устройством защиты недопустимого уровня сопротивления генератор должен быть отключен.

Снижение сопротивления изоляции сети постоянного тока относительно земли не допускается менее 6000 Ом при напряжении батареи НО В и менее 15000 Ом при напряжении 220 В. Поэтому сопротивление изоляции цепей постоянного тока контролируют специальными приборами или измеряют с помощью вольтметра.

Снижение сопротивления изоляции сети постоянного тока может привести к серьезным нарушениям режима работы станции: вызвать ложную работу или отказ защиты, автоматики, схемы управления, привести к повреждению изоляции на другом участке. Поэтому участок с поврежденной изоляцией должен быть быстро обнаружен и отключен от общей сети.

Снижение сопротивления изоляции сети постоянного тока может привести к серьезным нарушениям режима работы станции: вызвать ложную работу или отказ защиты, автоматики, схемы управления; привести к повреждению изоляции на другом участке. Поэтому участок с поврежденной изоляцией должен быть быстро обнаружен и отключен от общей сети.

Снижение сопротивления изоляции обмоток ниже указанных значений может быть вызвано проникновением в толщу изоляции влаги, поверхностной влажностью или оседанием токопроводящей пыли на выводах, обмотках и коллекторе машины.

При снижении сопротивления изоляции ниже определенного предела( обычно 10 000 ом) рекомендуется прекращать эксплуатацию установки и поднимать ее на поверхность для замены неисправных узлов.

При снижении сопротивления изоляции одной из фаз уменьшается показание соответствующего вольтметра и возрастают показания двух других вольтметров. Однако схемы, построенные на этом принципе, не отвечают основным требованиям к схемам непрерывного контроля изоляции.

При снижении сопротивления изоляции до критического значения оперативный ток возрастает до величины, вызывающей срабатывание реле Р и промежуточного реле РП.

При снижении сопротивления изоляции до - уставкиригнал на входе триггера становится достаточным для его срабатывания, и исполнительное реле К включается. При увеличении сопротивления изоляции триггер переходит в первоначальное состояние, и реле отключается.

При снижении сопротивлений изоляции либо обеих фаз, либо одной из них напряжение во вторичной обмотке трансформатора напряжения увеличивается.

При снижении сопротивления изоляции до уставки сигнал на входе триггера становится достаточным для его срабатывания и исполнительное реле К включается. При увеличении сопротивления изоляции триггер переходит в первоначальное состояние и реле отключается.

При снижении сопротивления изоляции до величины уставки реле последнее срабатывает и отключает своими размыкающими контактами промежуточное реле РП, которое размыкает цепь катушки сетевого контактора КЛ, и вся сеть отключается от напряжения. В результате исчезновения напряжения контакты МП магнитных пускателей отсоединяют от сети всех потребителей, в том числе и потребителя с поврежденной изоляцией.

При снижении сопротивления изоляции на 30 % должны быть приняты срочные меры к ее восстановлению.

При снижении сопротивления изоляции на 30 % и более принимаются срочные меры по ее восстановлению.

При снижении сопротивления изоляции без замыкания на землю проводимости фаз относительно земли остаются приблизительно симметричными. Поэтому напряжение нулевой последовательности близко к нулю, а напряжения между фазами и землей близко к фазному напряжению источника.

При снижении сопротивления изоляции до 10 000 ом ток, протекающий через реле КР, превышает ток трогания, благодаря чему это реле размыкает свой контакт в цепи нулевой катушки РВНО-6, отключающего МБ.

При снижении сопротивления изоляции до критического значения (меньше предельно допустимого) прибор подает звуковой, световой сигналы или отключает электроэнергию.

При симметричном снижении сопротивлений изоляции вплоть до короткого замыкания вольтметры исправно показывают напряжения, равные фазному. Очевидно, что схема трех вольтметров не измеряет сопротивления изоляции и не осуществляет контроль изоляции, а только обнаруживает замыкания на землю.

При снижении сопротивления изоляции сети ток в основной об - - мотке уменьшается, и при сопротивлении изоляции, равном сопротивлению уставки, реле срабатывает, при этом оно своим контактом воздействует на цепь отключающей обмотки коммутационного аппарата, который отключает сеть с поврежденной изоляцией.

При снижении сопротивления изоляции сети га до 3500 Ом1 постоянный ток в цепи достигает значения, равного току срабатывания реле (5 мА), и реле срабатывает; его контакт Р, включает катушку ОК, обеспечивающую отключение поврежденной сети. При этом время отключения не превышает 0,2 с. Другой контакт Р1 замыкает цепь катушки реле Р напрямую для исключения подгорания контактов реле при перемежающихся замыканиях на землю. Омметр, предусмотренный в схеме, измеряет сопротивление сети.

При снижении сопротивления изоляции сети гэ до 3500 Ом постоянный ток в цепи достигает значения, равного току срабатывания реле (5 мА), и реле срабатывает; его контакт Р1 включает катушку О К, обеспечивающую отключение поврежденной сети.

При снижении сопротивления изоляции ниже допустимого предела сила тока в измерительной цепи достигает отключающего значения, и реле Р срабатывает; его контакт

P1 отключает катушку О / С фидерного автоматического выключателя АФВ, который отключает поврежденную сеть. Контакт P2 этого реле замыкается и шунтирует цепь сопротивлений изоляции, повышая этим надежность действия защиты и уменьшая время ее срабатывания в пограничных условиях отключения.

При снижении сопротивления изоляции ниже допустимого предела ток в измерительной цепи возрастает и реле Р1 срабатывает; его контакт Р1 11 включает катушку О К, автомат АВФ отключается. Контакт Р1 / 2 реле Р, замыкаясь, закорачивает цепь конденсатора СУ, что повышает надежность действия защиты и уменьшает время ее срабатывания в пограничных условиях отключения.

При снижении сопротивления изоляции электроинструмента ниже допустимой нормы устройство отключает его от сети.

Следовательно, равномерное снижение сопротивлений изоляции не может быть обнаружено. У & Ф Ус показания вольтметров могут быть самыми различными, и судить о величине сопротивления изоляции невозможно. По этим причинам контроль вольтметрами и лампами целесообразно применять только для регистрации однофазных замыканий на землю.

В случае снижения сопротивления изоляции ток через указатель и реле возрастает, стрелка отклоняется сильней.

В случае снижения сопротивления изоляции ток через указатель и реле возрастает, стрелка отклоняется больше. Достоинством прибора ПКИ является небольшая величина измерительного постоянного тока - до 5 мА, что не повышает опасности эксплуатации. В случае снижения сопротивления изоляции ток через указатель и реле возрастает, стрелка отклоняется сильнее.

Во избежание снижения сопротивления изоляции, которое может наблюдаться после процессов травления и удаления защитного слоя краски, производят вторичный контроль ПП на чистоту отмычки. При этом сопротивление изоляции ПП, выполненных на гетинаксе, должно быть не менее 500 МОм. Затем ПП обрабатывают на крацовочном станке.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

### **2.1 Лабораторная работа №1( 2 часа).**

**Тема: «Изучение схемы управления асинхронным электродвигателем из двух мест с защитой от обрыва фазы»**

**2.1.1 Цель работы:** Изучить схему управления электродвигателем с помощью магнитного пускателя, устройство и принцип действия реле обрыва фазы типа Е511, научиться производить сборку схемы, убедиться в эффективности функционирования схемы.

#### **2.1.2 Задачи работы:**

1. Собрать схему управления электродвигателем и испытать её в лабораторных условиях.

#### **2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Персональный компьютер
2. Проектор

3. Универсальный фронтальный стэнд

4. Асинхронный электродвигатель

5. Термическое реле

6. Магнитные пускатели

7. Кнопочная станция

8. Реле контроля обрыва фаз

#### 2.1.4 Описание (ход) работы:

##### **Краткие теоретические положения**

Схема предназначена для управления электродвигателем, работающим под наблюдением оператора, местонахождение которого в процессе работы может изменяться. Например, при обслуживании поточной технологической линии оператор может находиться или у центрального пульта управления, обозревая и управляя всеми машинами, реализующими технологический процесс, или непосредственно у отдельной рабочей машины, осуществляя её техническое обслуживание, наладку и регулировку. Поскольку оператор не может контролировать состояние электроприводов всех рабочих машин одновременно и в течение всего рабочего периода, каждый электродвигатель должен быть надёжно защищён от аварийных режимов. В первую очередь защищён от наиболее вероятных режимов перегрузки и неполнофазного режима.

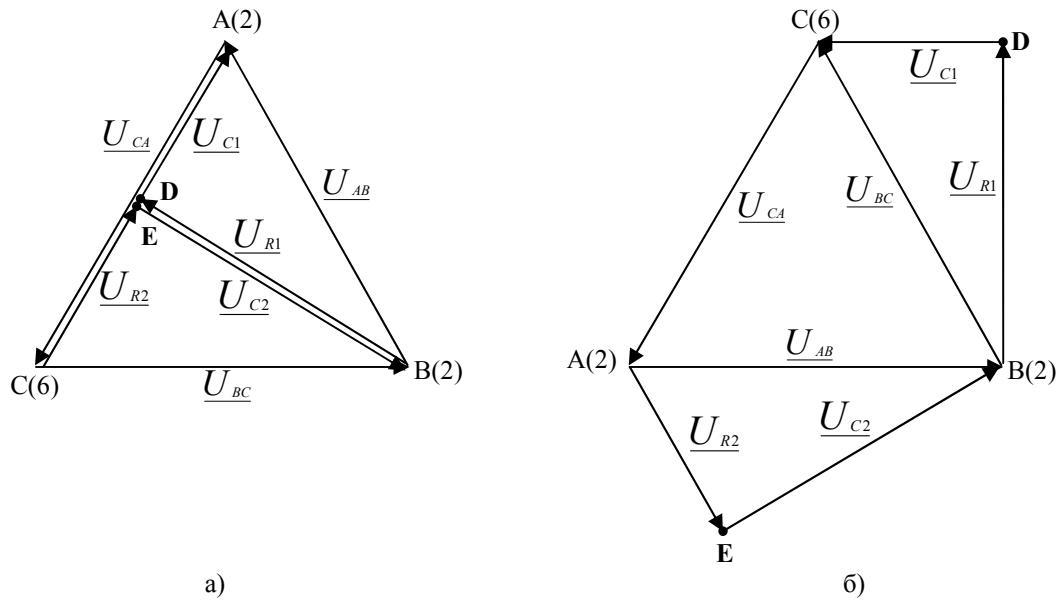
Схема состоит (рис.2) из автоматического выключателя QF1, термического реле K1K, реле обрыва фазы A1 типа E 511 и из двух постов управления:

1 пост – кнопки SBC1 «пуск» и SBT2 «стоп»;

2 пост – кнопки SBC3 «пуск» и SBT4 «стоп».

Для имитации режимов оборванной фазы в силовой цепи установлены кнопки SB5...SB7.

Реле A1 обрыва фазы типа E511 состоит из 2-х цепей (R1, C1 и R2, C2), соединенных последовательно и подключенных каждая на линейное напряжение электрической сети (клещи 2 – фаза A, 4- фаза B, 6- фаза C).



### **Рис. 1: Векторные диаграммы входных цепей реле обрыва фазы**

Емкости и сопротивления резисторов подобраны таким образом, что при симметричной системе напряжений в сети, а следовательно, и на клеммах 2, 4, 6 напряжение между точками **D** и **ERC** цепи равно нулю (рис. 1а). Поэтому равно нулю и напряжение на обмотке KL1.1 промежуточного реле KL1. Контакт этого реле KL1.2 замкнут и через него запитывается обмотка KL2.1 реле KL2 от фаз А и С электрической сети. Реле KL2 срабатывает, замыкается его контакт KL2.2 и тем самым подготавливает цепь для включения катушки KM1.1 магнитного пускателя KM1.

Если в сети произойдет обрыв одной из фаз или установится обратный порядок следования фаз (A,C,B), то между точками **D** и **E** RC цепи, а следовательно и на катушке KL1.1 появится напряжение (рис1б). Реле KL1 сработает, разомкнет свой контакт KL1.2 в цепи катушки KL2.1. Реле KL2 вернется в исходное состояние и разомкнет свой контакт в цепи катушки KM1.1 магнитного пускателя KM1. Магнитный пускатель отключит электродвигатель M1, если он работал, и не позволит ему включиться, если до обрыва фазы он был отключен.

Тепловое реле KK1 служит для защиты электродвигателя M1 от перегрузки. Оно состоит из двух нагревательных элементов KK1.1 и KK1.2, включенных последовательно с обмотками электродвигателя в фазах А и С. При перегрузке электродвигателя биметаллическая пластина реле, расположенная вблизи нагревателей, перегревается, изгибается и через механические связи размыкает контакт KK1.3 теплового реле. Так как он включен последовательно с катушкой KM1.1, катушка обесточивается и магнитный пускатель своими силовыми контактами KM1.2 отключает электродвигатель.

Пуск электродвигателя оператором осуществляется кнопкой SBC1. При нажатии кнопки ее контакт замыкается, замыкая тем самым цепь: фаза С – KL2.2 – KM 1.1 – KK1.3 – SBC1 – SBT2 – N. Пускатель KM1 срабатывает, замыкаются его силовые контакты KM1.2, через которые запитываются обмотки электродвигателя M1. Одновременно замыкается блокировочный контакт KM1.3 магнитного пускателя, обеспечивая путь тока в обход контакта SBC1. Поэтому при отпускании кнопки SBC1 катушка KM1.1 пускателя не обесточивается и электродвигатель остается включенным. То же самое произойдет при нажатии на кнопку SBC3, расположенную в другом месте.

Отключение электродвигателя, независимо от того, с какого места он был включен, происходит при нажатии на кнопку SBT2 первого кнопочного поста управления или на кнопку SBT4 второго поста управления. Как в том, так и в другом случае разрывается цепь питания катушки KM1.1. Магнитный пускатель KM1 размыкает силовые контакты KM1.2, отключая электродвигатель. Размыкается и блокировочный контакт KM1.3, что предотвращает повторное включение магнитного пускателя при отпускании кнопок SBT, когда их контакты снова замыкаются.

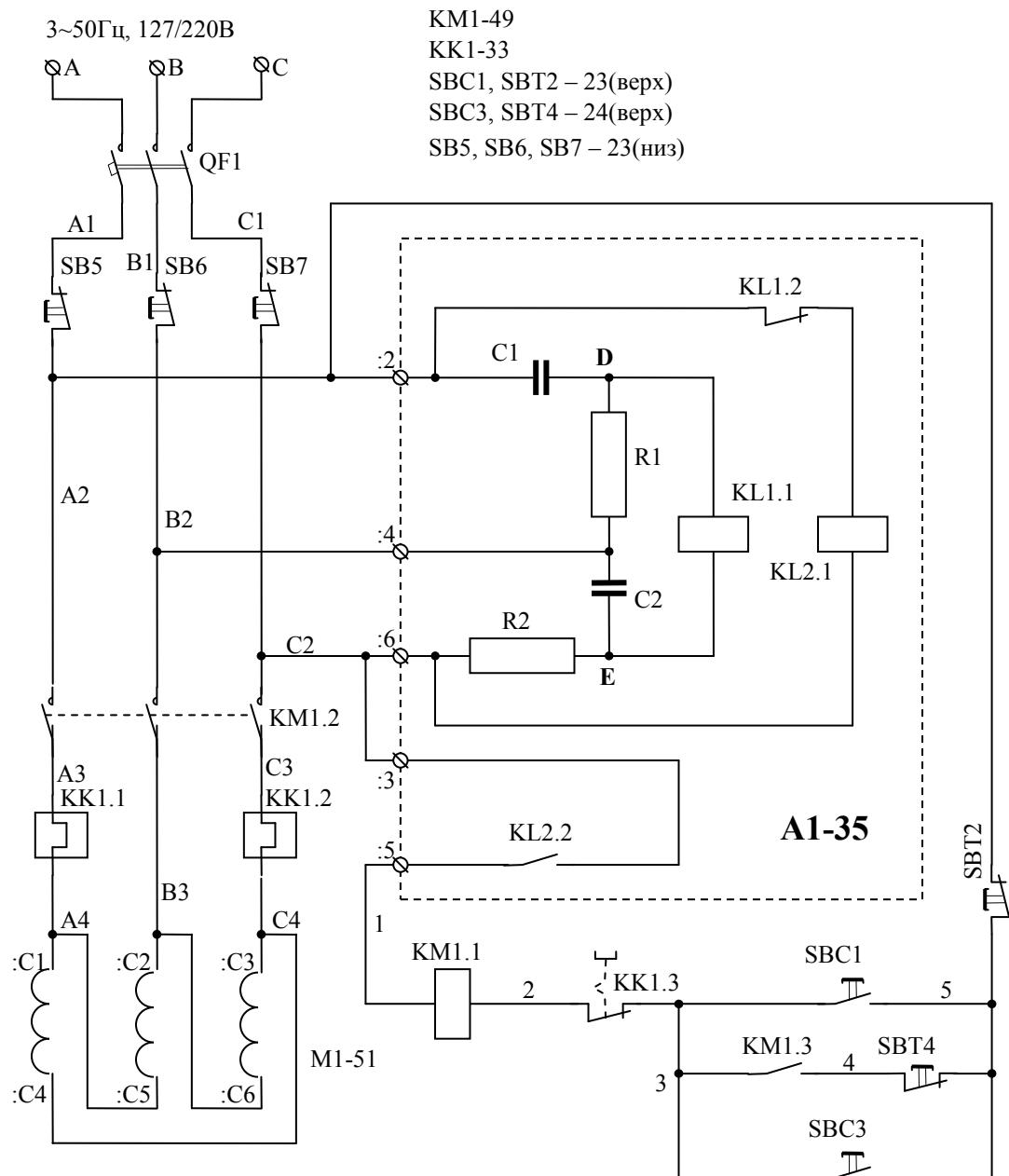
### **4Порядок выполнения задания**

#### **Знакомимся с основными техническими данными и расположением оборудования**

*Знакомство осуществить по перечню элементов, составленному на вводном занятии*

#### **Собираем схему экспериментальной установки**

*Соберём электрическую схему по плакату. Сидоров собирает узел A1; Козлов – узел A2 и так далее. Во время сборки перечертим схему в тетради.*



**Рис. 1: Схема включения электродвигателя с возможностью управления из двух мест.**

### Оуществим испытание схемы

1. Сидоров – объясняет, что произойдёт в схеме при включении  $QF1$ . подаёт напряжение и убеждает всех присутствующих в истинности им провозглашённого.
2. Козлов – объясняет, что произойдёт в схеме после нажатия кнопки  $SBC1$ , а затем – кнопки  $SBT2$ ; убеждает присутствующих в достоверности предсказания. То же самое проделывает с кнопками  $SBC3$  и  $SBT4$ .
3. Скворцов – демонстрирует возможности независимого управления из двух мест, включая электродвигатель в одном месте, а отключая в другом: нажимает сначала  $SBC1$ , а затем  $SBT4$ . Далее нажимает  $SBC3$ , а затем  $SBT2$ .

4. Сорокин – демонстрирует работу реле обрыва фазы: включает электродвигатель, а затем обрывает фазу **A**, нажав на кнопку SBT5. То же самое проделывает с фазами **B** и **C**. Меняет местами фазы **B** и **C**, убеждает аудиторию, что включения электродвигателя в обратную сторону не происходит. Детально объясняет аудитории, что происходило в схеме при каждом из его действий.

5. Воронин – демонстрирует работу теплового реле: включает электродвигатель, доказывает присутствующим, что тепловое реле должно сработать, и терпеливо ожидает свершения этого предсказания.

## **2.2Лабораторная работа №2,3( 4 часа).**

### **Тема: «Защита от асимметрии напряжения и обратного хода»**

**2.2.1 Цель работы:** Ознакомиться со схемой и принципом действия защиты асинхронного двигателя; выбрать параметры защиты; провести экспериментальную проверку действия защит.

#### **2.2.2 Задачи работы:**

1. Исследовать работу трёхфазного асинхронного электродвигателя

#### **2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Персональный компьютер

2.Проектор

3.Универсальный фронтальный стэнд

#### **2.2.4 Описание (ход) работы:**

К ним относятся защита от недопустимого падения питающего напряжения, асимметрия питающего напряжения, обратного вращения ротора, снижения сопротивления изоляции обмотки статора, работы без нагрузки и др. Защита от недопустимого падения напряжения в момент пуска (защита минимального напряжения) выполняется с помощью расцепителей минимального напряжения. Рекомендуемое максимальное допустимое падение напряжения при пуске электродвигателя составляет 15% n (СП31 -110-2003, п. 7.23). Это гарантирует сохранение высокого пускового момента и быстрый выход электродвигателя на номинальные обороты

-Защита от асимметрии питающего напряжения и обратного вращения ротора выполняется с помощью реле контроля фаз.

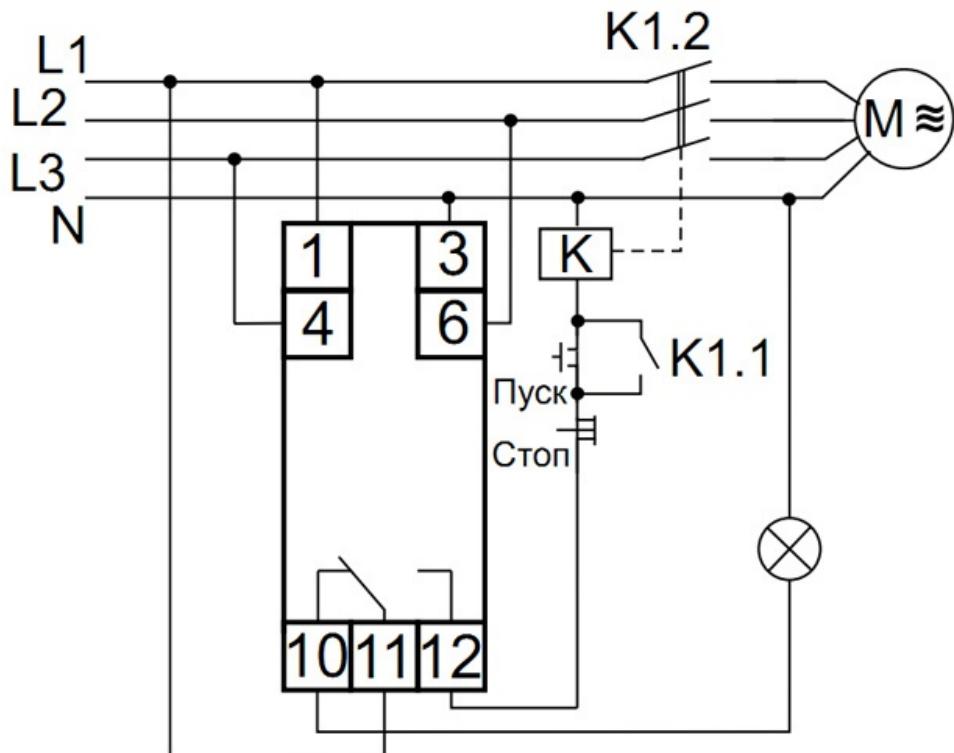
-Защита от недопустимого снижения сопротивления изоляции обмотки статора выполняется с помощью токовых дифференциальных реле защиты от замыканий на землю (УЗО). Этот тип защиты необходим для ответственных механизмов, работающих в условиях высокой влажности и/или запыленности. Защита предотвращает выход электродвигателя из строя

-за больших токов утечки через изоляцию. Большие токи утечки возникают по причине физического повреждения изоляции, ее загрязнения, увлажнения и др

#### **Знакомимся с основными техническими данными и расположением оборудования**

#### **Собираем схему экспериментальной установки**

*Соберём электрическую схему по плакату. Сидоров собирает узел A1; Козлов – узел A2 и так далее. Во время сборки перечертим схему в тетради.*



### **Осуществим испытание схемы**

. Сидоров – объясняет, что произойдёт в схеме при включении *QF1*. подаёт напряжение и убеждает всех присутствующих в истинности им провозглашённого.

. Козлов – объясняет, что произойдёт в схеме после нажатия кнопки Пуск, а затем – кнопки стоп; убеждает присутствующих в достоверности предсказания.

. Сорокин – демонстрирует работу реле обрыва фазы: включает электродвигатель, а затем обрывает фазу А, нажав на кнопку SBT5. То же самое проделывает с фазами В и С. Меняет местами фазы В и С, убеждает аудиторию, что включения электродвигателя в обратную сторону не происходит. Детально объясняет аудитории, что происходило в схеме при каждом из его действий.

### **2.3Лабораторная работа №4( 2 часа).**

**Тема: «Защита на базе цифровой техники»**

**2.3.1 Цель работы:** Ознакомиться с конструкцией и принципом действия синхронного генератора, оценить влияние характера нагрузки на характеристики генератора, овладеть методикой графо-аналитического исследования характеристик синхронного генератора.

#### **2.3.2 Задачи работы:**

1. Снять характеристики генератора

#### **2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Персональный компьютер

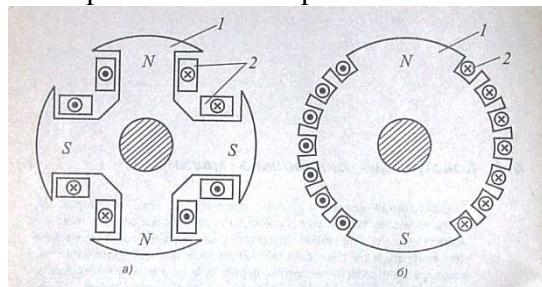
- 2.Проектор
- 3.Универсальный фронтальный стэнд
4. Трехфазный асинхронный электродвигатель с фазным ротором
5. Диоды
6. Автотрансформатор
7. Трехфазный асинхронный электродвигатель
8. Амперметр
9. Вольтметр
10. Резисторы
11. Автоматические выключатели.

### 2.3.4 Описание (ход) работы:

#### Краткие теоретические положения

Синхронной называют машину переменного тока, в которой скорость вращения ротора равна скорости вращения магнитного поля в её рабочем зазоре. Чаще всего синхронная машина используется в качестве генератора и реже в качестве электродвигателя для привода крупных вентиляторов, компрессоров, центробежных насосов, генераторов постоянного тока.

Статор синхронной машины, называемый также якорем, ничем не отличается от статора асинхронного электродвигателя. Ротор же представляет собой явнополюсный или неявнополюсный электромагнит, обмотка которого питается от внешнего источника постоянного тока через два контактных кольца и щётки. Явнополюсный ротор обычно используется в машинах с четырьмя и более парами полюсов.



**Рис. 1: Конструкция ротора (индуктора) явнополюсной (а) и неявнополюсной (б) синхронной машины.**

При холостом ходе магнитный поток генератора создаётся только обмоткой возбуждения. Этот поток направлен по оси полюсов ротора и индуцирует в фазах обмотки якоря э.д.с.

$$E_0 = 4,44 f_1 \omega_1 \kappa_{ob1} \Phi_0$$

#### Формула 1

При появлении тока в обмотках статора взаимодействие намагничивающих сил статора и ротора приводит к изменению картины магнитного поля в зазоре генератора. Это влияние называется реакцией якоря. При чисто активной нагрузке реакция якоря - поперечная, при чисто индуктивной - продольная размагничивающая, а при чисто ёмкостной – продольная намагничивающая. В генераторном режиме поперечная реакция якоря приводит к усилению магнитного поля на сбегающем крае полюса и ослаблению – на набегающем (в двигательном – наоборот). Для всех режимов работы и видов нагрузки синхронного

генератора характерно изменение результирующего магнитного поля при действии реакции якоря и изменение его э.д.с.

*Дополнительная литература: Сукманов В. И. Электрические машины и аппараты.- М.:Колос, 2001. -с195...218*

Холостого хода  $E_0=F(I_B)$ ;

Индукционную нагрузочную  $U=f(I_B)$ ;

Внешние  $U=f(I_H)$  при  $\text{Cos}\varphi=1$  и  $\text{Cos}\varphi=0,7$ ;

Регулировочные  $I=f(I_B)$  при  $\text{Cos}\varphi=1$  и  $\text{Cos}\varphi=0,7$ ;

1. Трёхфазного короткого замыкания  $I_{K3}^{(3)}=f(I_B)$ ;

#### **Порядок выполнения задания**

#### **Знакомимся с основными техническими данными используемого в схеме оборудования и его размещением на стенде**

*Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии*

G1	Синхронный генератор: тип EC52-4M101 с самовозбуждением $I_{B,\text{НОМ}}=4,3\text{A}$ , 1500 об/мин, 5 кВт, $I_{\Phi,\text{НОМ}}=9\text{A}$ ; $I_{L,\text{НОМ}}=15,7\text{A}$ ; $U_{\Phi,\text{НОМ}}=133\text{V}$ ; $U_{L,\text{НОМ}}=230\text{V}$ ; 106 кг (При $U_B=17,6\text{V}$ и $I_B=9\text{A}$ ; $U_\Phi=162\text{V}$ )	1	
----	---	---	--

#### **Собираем схему экспериментальной установки**

*Собрать электрическую схему. Сидоров собирает узел A1; Козлов – узел A2 и так далее. Во время сборки перечертить схему в тетради.*

#### **Собираем схему экспериментальной установки**

*Собрать электрическую схему по плакату. Сидоров собирает узел A1; Козлов – узел A2 и так далее. Во время сборки перечертить схему с плаката в тетради.*

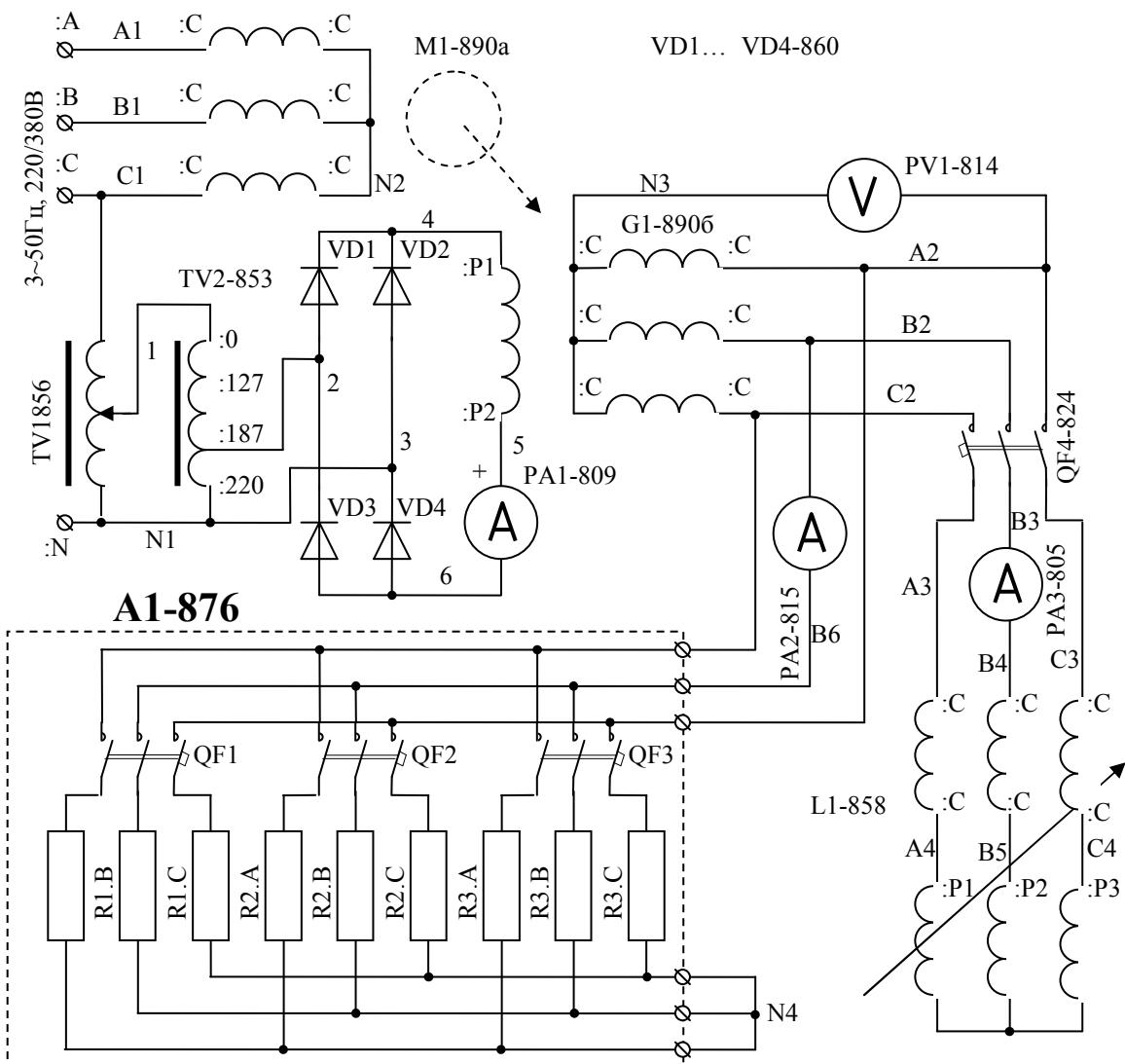


Рис.2: Принципиальная схема испытания синхронного генератора.

Снимаем характеристику холостого хода

Заготовливаем и заполняем таблицу записи наблюдений для  
снятия характеристики холостого хода

Распределяются исполнители

Таблица 1

Исп-ли	Положение выключа-телей QF1...QF4	Активный ток $I_A = I_{PA2}$ , А	Реактивный ток $I_p = I_{PA3}$ , А	Ток возб-я $I_B = I_{PA1}$ , А	Фазное напряжение $U_\Phi = U_{PV1}$ , В	Полный ток нагрузки $I_H = 1.41 I_A$ , А	$U_\Phi^* = U_\Phi / U_{\Phi, \text{ном}}$	$I_B^* = I_B / I_{B0}$	$I_H^* = I_H / I_{H0}$
Характеристика холостого хода при увеличении тока возбуждения									
Козлов	0/0/0/0	0	0	1	0	0			0

				,	5				
<i>Судоро в</i>	0/0/0/0	0	0	2	, 5		0		0
<i>И т. д.</i>	0/0/0/0	0	0	3	, 5		0		0
	0/0/0/0	0	0	4	, 5		0		0
	0/0/0/0	0	0	5	, 5		0		0
	0/0/0/0	0	0	6	, 5		0		0
	0/0/0/0	0	0	7	, 5		0		0
	0/0/0/0	0	0	8	, 5		0		0

Характеристика холостого хода при снижении тока возбуждения

	0/0/0/0	0	0	8	, 5		0		0
	0/0/0/0	0	0	7	, 5		0		0
	0/0/0/0	0	0	6	, 5		0		0
	0/0/0/0	0	0	5	, 5		0		0

	0/0/0/0			4 , 5		0			0
	0/0/0/0	0		3 , 5		0			0
	0/0/0/0	0		2 , 5		0			0
	0/0/0/0	0		1 , 5		0			0

**Запускаем установку в следующем порядке:**

*Работу выполняет назначенный исполнитель*

Устанавливаем автотрансформатор в нулевое положение;

Отключаем QF1 по QF4;

Подаём напряжение;

Передаём установку для снятия характеристики.

**Записываем и выполняем действия по снятию параметров каждой из точек характеристики**

*Работу выполняют ответственные за каждую точку характеристики*

Устанавливаем заданные в таблице независимые параметры (*величину тока возбуждения подводим к требуемой обязательно снизу для восходящей ветви и сверху - для нисходящей*)

Снимаем и заносим в таблицу зависимые параметры

Определяем расчётные данные

**Строим восходящую и нисходящую ветви характеристики холостого хода в относительных единицах**

*Старший заготавливает координатную плоскость на доске, а каждый из исполнителей наносит точки графиков на плоскость. Старший по работе проводит искомые кривые. И делает заключение по проделанному заданию.*

*Оставить место для графика*

**Снимаем индукционную нагрузочную характеристику**

**Заготавливаем и заполняем таблицу записи наблюдений**

*Распределяются исполнители*

Таблица 2

Исп-ли	Положение выключа- телей QF1...QF4	Активный ток $I_A=I_{PA2}, A$	Реактивный ток $I_P=I_{PA3}, A$	Ток возб-я $I_B=I_{PA1}, A$	Фазное напряжение $U_\Phi=U_{PV1}, V$	Полный ток нагрузки $I_H=I_P, A$	$U_\Phi^*=U_\Phi/U_{\Phi,HOM}$	$I_B^*=I_B/I_{BO}$	$I_H^*=I_H/I_{HOM}$
--------	---------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------	--	-------------------------------------	--------------------------------	--------------------	---------------------

<i>Козлов</i>	0/0/0/1	0	9	8,0		9			1
<i>Сидоров</i>	0/0/0/1	0	9	8,5		9			1
<i>И т. д.</i>	0/0/0/1	0	9	9,0		9			1
	0/0/0/1	0	9	9,4		9			1

**Запускаем установку в порядке, указанном выше**

*Работу выполняет назначенный исполнитель*

**Записываем и выполняем действия по снятию параметров каждой из точек характеристики**

*Работу выполняют ответственные за каждую точку характеристики*

2. Устанавливаем заданные в таблице независимые параметры
3. Снимаем и заносим в таблицу зависимые параметры
4. Определяем расчётные данные

**Строим характеристику в относительных единицах**

*Характеристика строится на том же графике, что и характеристика холостого хода*

**Снимаем внешние характеристики при активной и активно-индуктивной нагрузках**

**Заготовливаем и заполняем таблицу записи наблюдений для снятия характеристик**

*Распределяются исполнители*

Таблица 3

Исп-ли	Положение выключа-телей QF1…QF4	Активный ток $I_A=I_{PA2}$ , А	Реактивный ток $I_P=I_{PA3}$ , А	Ток возб-я $I_B=I_{PA1}$ , А	Фазное напряжение $U_\Phi=U_{PV1}$ , В	Полный ток нагрузки $I_H$ , А	$U_\Phi^*=U_\Phi/U_{\Phi,\text{ном}}$	$I_B^*=I_B/I_{B0}$	$I_H^*=I_H/I_{H0}$
--------	---------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	------------------------------	---	----------------------------------	---------------------------------------	--------------------	--------------------

*Внешняя характеристика при чисто активной нагрузке с понижением напряжения*

<i>Козлов</i>	0/0/0/0		0	4,3					
<i>Сидоров</i>	0/1/0/0		0	4,3					
	1/0/0/0		0	4,3					
	0/0/1/0		0	4,3					
	1/1/0/0		0	4,3					
	0/1/1/0		0	4,3					
	1/0/1/0		0	4,3					
	1/1/1/0		0	4,3					

Внешняя характеристика при чисто активной нагрузке с повышением напряжения								
	1/0/1/0		0	5,4				
	0/1/1/0		0	5,4				
	1/1/0/0		0	5,4				
	0/0/1/0		0	5,4				
	0/1/0/0		0	5,4				
	1/0/0/0		0	5,4				
	0/0/0/0		0	5,4				

Внешняя характеристика при активно-индуктивной нагрузке с понижением напряжения

Регулируя индуктивность реактивной катушки, устанавливаются равные токи									
		$I_A=I_P$							
	0/0/0/0			4,3					
	0/1/0/1			4,3					
	1/0/0/1			4,3					
	0/0/1/1			4,3					
	1/1/0/1			4,3					
	0/1/1/1			4,3					

**Примечание:**  $I_H = \sqrt{I_A^2 + I_P^2}$

**Запускаем установку в порядке, указанном выше**

*Работу выполняет назначенный исполнитель*

**Записываем и выполняем действия по снятию параметров каждой из точек характеристики**

*Работу выполняют ответственные за каждую точку характеристики*

Устанавливаем заданные в таблице независимые параметры

Снимаем и заносим в таблицу зависимые параметры

Определяем расчётные данные

**Строим внешние характеристики в относительных единицах**

*Старший заготавливает координатную плоскость на доске, а каждый из исполнителей наносит точки графиков на плоскость. Старший по работе проводит искомые кривые. И делает заключение по проделанному заданию.*

*Оставить место для графика*

**Рис. 4: Внешние характеристики СГ**

**Снимаем регулировочную характеристику**

**Заготавливаем и заполняем таблицу записи наблюдений для снятия характеристики**

*Распределяются исполнители*

Таблица 4

Исп-ли	Положение выключа-телей QF1...QF4	Активный ток $I_A=I_{PA2}, A$	Реактивный ток $I_P=I_{PA3}, A$	Ток возб-я $I_B=I_{PA1}, A$	Фазное напряжение $U_\Phi=U_{PV1}, V$	Полный ток нагрузки $I_H, A$	$U_\Phi^*=U_\Phi/U_{\Phi, \text{ном}}$	$I_B^*=I_B/I_{B0}$	$I_H^*=I_H/I_{H0}$
--------	-----------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------	--	---------------------------------	--	--------------------	--------------------

Регулировочная характеристика при чисто активной нагрузке

<i>Козлов</i>	0/0/0/0	0	0		133				
<i>Сидоров</i>	0/1/0/0		0		133				
<i>И.м.д.</i>	1/0/0/0		0		133				
	0/0/1/0		0		133				
	1/1/0/0		0		133				
	0/1/1/0		0		133				
	1/0/1/0		0		133				

Регулировочная характеристика при активно-индуктивной нагрузке ( $\cos\phi=0.7$ )

		$I_A=I_P$							
	0/0/0/0	0	0		133				
	0/1/0/1				133				
	1/0/0/1				133				
	0/0/1/1				133				
	1/1/0/1				133				
	0/1/1/1				133				

	1/0/1/1				133			
--	---------	--	--	--	-----	--	--	--

**Запускаем установку в порядке, указанном выше**

*Работу выполняет назначенный исполнитель*

**Записываем и выполняем действия по снятию параметров каждой из точек характеристики**

*Работу выполняет ответственный за каждую точку характеристики. Сосед по строке снизу, регулируя ток возбуждения автотрансформатором, помогает поддерживать заданное напряжение.*

Устанавливаем заданные положения выключателей QF1...QF4

Устанавливаем заданное в таблице напряжение

Регулируя индуктивность, добиваемся равенства активного и реактивного токов

Снимаем и заносим в таблицу установленные параметры

Определяем расчётные данные

**Строим характеристики в относительных единицах**

*Старший заготавливает координатную плоскость на доске, а каждый из исполнителей наносит точки графиков на плоскость. Старший по работе проводит исходные кривые. И делает заключение по проделанному заданию.*

*Оставить место для графика*

**Рис. 5: Регулировочные характеристики СГ**

**Снимаем характеристику короткого замыкания**

**Заготавливаем и заполняем таблицу записи наблюдений**

*Распределяются исполнители*

Таблица 5

Исп-ли	Положение выключа-телей QF1...QF4	Активный ток $I_A = I_{PA2}, A$	Реактивный ток $I_p = I_{PA3}, A$	Ток возб-я $I_B = I_{PA1}, A$	Фазное напряжение $U_\Phi = U_{PV1}, V$	Полный ток нагрузки $I_H, A$	$U_\Phi^* = U_\Phi / U_{\Phi, \text{НОМ}}$	$I_B^* = I_B / I_{B0}$	$I_H^* = I_H / I_{H0}$
<i>Козлов</i>	0/0/0/1	0	2		0		0	0	
<i>Сидоров</i>	0/0/0/1	0	3		0		0	0	
<i>И т. д.</i>	0/0/0/1	0	4		0		0	0	
	0/0/0/1	0	5		0		0	0	
	0/0/0/1	0	6		0		0	0	
	0/0/0/1	0	7		0		0	0	

	0/0/0/1	0	8		0		0		
	0/0/0/1	0	9		0		0		
	0/0/0/1	0	10		0		0		

**Закорачиваем выводы реактивной катушки С1, С2, С3**

**Запускаем установку в порядке, указанном выше**

*Работу выполняет назначенный исполнитель*

**Записываем и выполняем действия по снятию параметров каждой из точек характеристики**

*Работу выполняют ответственные за каждую точку характеристики*

1. Устанавливаем заданный в таблице ток трёхфазного короткого (это реактивный ток)
2. Снимаем и заносим в таблицу ток возбуждения, при котором этот ток устанавливается
3. Определяем расчётные данные

**Строим характеристику в относительных единицах**

*Старший заготавливает координатную плоскость на доске, а каждый из исполнителей наносит точки графиков на плоскость. Старший по работе проводит исходные кривые. И делает заключение по проделанному заданию.*

*Оставить место для графика*

**Рис. 6: Характеристика короткого замыкания СГ**

**Определяем отношение короткого замыкания**

$$OKZ = I_{(IB^*=1)}^{(3)}/I_H =$$

## **2.4.Лабораторная работа №5 ( 2 часа).**

**Тема: «Стенды для испытания устройств защиты»**

**2.4.1 Цель работы:** Научиться определять параметры схемы замещения трансформатора по результатам опытов холостого хода и короткого замыкания.

### **2.4.2 Задачи работы:**

1. Провести опыты холостого хода и короткого замыкания,

### **2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Персональный компьютер
2. Проектор
3. Универсальный фронтальный стенд
4. Амперметр
5. Вольтметр
6. Трансформатор
7. Автотрансформатор
8. Универсальный измерительный комплект

9. Розетка

10. Короткозамкнутая вилка

11.

#### **2.4.4 Описание (ход) работы:**

$R_1$  и  $X_1$  определяют первичную обмотку, а  $R'_2$  и  $X'_2$  - вторичную. Индуктивные сопротивления  $X_1$  и  $X'_2$  обуславливаются магнитными потоками рассеяния обмоток. Схемы замещения обмоток объединены в точках  $a$  и  $b$ , так называемым намагничивающим контуром с сопротивлениями  $R_m$  и  $X_m$ . Индуктивное сопротивление  $X_m$  обусловлено магнитным потоком взаимоиндукции обмоток, а сопротивление  $R_m$  - потерями мощности в стали магнитопровода. Сопротивления вторичной обмотки  $R'_2 = R_2 * K^2$ ,  $X'_2 = X_2 * K^2$  и нагрузки  $Z'_{H'} = Z_H * K^2$  являются приведёнными к первичной обмотке. Аналогично приведёнными называют значение ЭДС и тока вторичной обмотки:  $E'_2 = E_2 * K$ ,  $I'_2 = \frac{I_2}{K}$ , где  $K = W_1/W_2$  - коэффициент трансформации. Такое приведение обеспечивает замену магнитосвязанных цепей электрически связанными цепями.

Таким образом, полная мощность приведённого контура вторичной обмотки в схеме замещения равна мощности вторичной обмотки реального трансформатора:

$$I'_2 * E'_2 = \frac{I_2}{K} * E_2 * K = I_2 * E_2.$$

Применение схем замещения трансформаторов позволяет упростить расчёты и анализ их работы. Параметры схемы замещения определяются из опытов холостого хода и короткого замыкания трансформаторов.

*Дополнительная литература: Сукманов В.И. Электрические машины и аппараты. М.: Колос, 2001. с. 84...89*

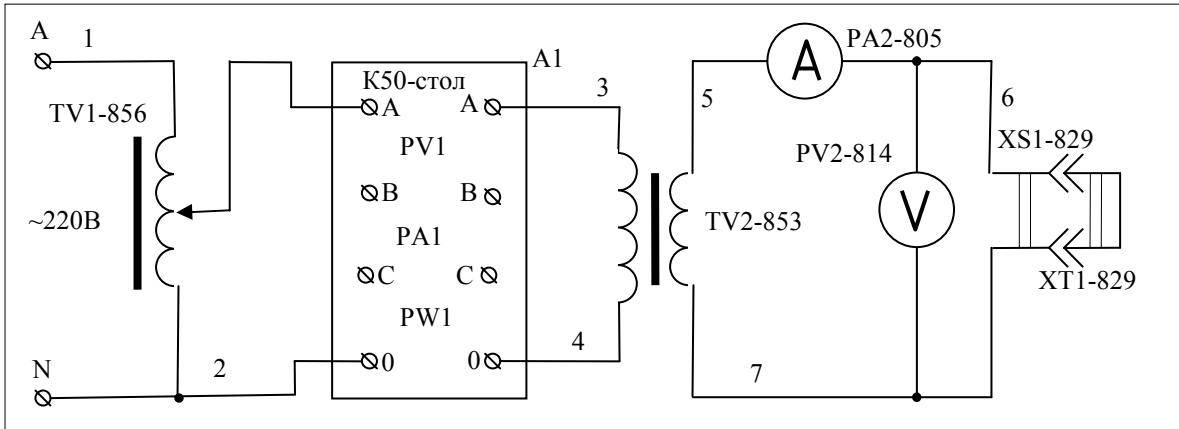
- Лекции по теме трансформаторы.

#### **Порядок выполнения задания**

*Знакомимся с основными техническими данными используемого в схеме оборудования и его размещением на стенде*

*Знакомство осуществлять по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии*

## Собираем схему экспериментальной установки



**Рис. 1: Принципиальная схема установки для проведения опытов**

*Собрать электрическую схему. Сидоров собирает узел A1; Козлов – узел A2 и так далее. Во время сборки перечертить схему в тетради.*

### **Проводим опыт холостого хода**

#### **Знакомимся с порядком запуска установки:**

- Устанавливаем движок автотрансформатора в нулевое положение (против часовой стрелки до упора);
- Убираем короткозамкнутую вилку;
- Подаем напряжение на вход автотрансформатора.

#### **Изучаем действия по снятию параметров каждой из точек характеристики:**

- Устанавливаем заданную в таблице величину напряжения (показания прибора PV1 необходимо умножать на 0,876);
- Снимаем и записываем в таблицу показания остальных электроизмерительных приборов.
- Определяем и заносим в таблицу результаты расчёта

**Заготавливаем таблицу записи наблюдений и обработки экспериментальных данных.**

Таблица 2

Результаты: $\Rightarrow$	опыта;				расчёта	
Исполнитель: $\Downarrow$	$U_{10}, \text{В}$	$I_{10}, \text{А}$	$P_{10}, \text{Вт}$	$U_{20}, \text{В}$	$S_{10}, \text{ВА}$	$\text{Cos}\phi_{10}$
<i>Сидоров</i>	170					
<i>Козлов</i>	180					
<i>И. д.</i>	190					
	205					
	$U_{10\text{НОМ}} = 220$	$I_{10\text{НОМ}} =$	$P_{10\text{НОМ}} =$	$U_{20\text{НОМ}} =$	$S_{10\text{НОМ}} =$	$\text{Cos}\phi_{10\text{НОМ}}$
	240					
	$Z_m = U_{10\text{НОМ}} / I_{10\text{НОМ}} =$		$R_m = P_{10\text{НОМ}} / I_{10\text{НОМ}}^2 =$		$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2} =$	

*Старший по работе проецирует таблицу на экран, а все остальные переносят её в тетради. Распределяются исполнители.*

### Запускаем установку и осуществляем измерения

*Старший по работе выполняет действия по пункту 4.3.1, а каждый из ответственных за точку производит действия по пункту 4.3.2. Все остальные студенты заносят результаты измерений и расчётов в свои отчёты.*

#### Проводим опыт короткого замыкания

##### Знакомимся с порядком запуска установки:

- Устанавливаем движок автотрансформатора в нулевое положение (против часовой стрелки до упора);
- Устанавливаем короткозамкнутую вилку;
- Подаём напряжение на вход автотрансформатора.

##### Изучаем действия по снятию параметров каждой из точек характеристики:

- Устанавливаем заданную величину тока;
- Снимаем и записываем в таблицу на доске показания электроизмерительных приборов.
- Определяем и заносим в таблицу результаты расчёта

##### Заготовляем таблицу записи наблюдений и обработки экспериментальных данных.

Таблица 2

Результаты:	опыта;				расчёта	
Исполнитель:	I <sub>1K</sub> , А	U <sub>1K</sub> , В	P <sub>1K</sub> , Вт	I <sub>2K</sub> , А	S <sub>1K</sub> , ВА	Cosφ <sub>1K</sub>
<i>Сидоров</i>	1					
<i>Козлов</i>	1,5					
<i>И т. д.</i>	2					
	2,5					
	3					
	3,5					
	4					
	4,5					
	5					
	$R_K = R_1 + R'_2 = \frac{P_{1K,HOM}}{I_{1K,HOM}^2}$				$R_{K75} = R_K \frac{310}{235+t} =$	
	$Z_K = Z_1 + Z'_2 = \frac{U_{1K,HOM}}{I_{1K,HOM}}$				$X_K = X_1 + X_2 = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} =$	
	$Z_{K75} = \sqrt{R_{K75}^2 + X_K^2} =$				$U_K \% = \frac{I_{1HOM} Z_{K75}}{U_{1HOM}} 100 =$	
	$U_{Ka} \% = \frac{I_{1HOM} R_{K75}}{U_{1HOM}} 100 =$				$U_{Kp} \% = \frac{I_{1HOM} X_K}{U_{1HOM}} 100 =$	

*Старший по работе спроектировал таблицу на экран, а все остальные переносят её в свои отчёты. Распределяются исполнители.*

#### Запускаем установку и осуществляем измерения

*Старший по работе выполняет действия по пункту 4.4.1, а каждый из ответственных за точку производит действия по пункту 4.4.2. Все остальные студенты заносят результаты измерений и расчётов в свои отчёты.*

### **Строим характеристики**

**Холостого хода:  $S_0, P_0, \cos\varphi_0 = f(U_{10})$**

Старший по работе заготавливает на доске оси координат с нанесением масштабных линеек, а каждый из ответственных за точку наносит её на поле графика. Все остальные студенты повторяют построение у себя в тетрадях.

**Короткого замыкания:  $P_k, I_k, \cos\varphi_k = f(U_k)$**

Старший по работе заготавливает на доске оси координат с нанесением масштабных линеек, а каждый из ответственных за точку наносит её на поле графика. Все остальные студенты повторяют построение у себя в тетрадях.

**Теоретических зависимостей  $U_2 = f(\beta)$  и  $\eta = f(\beta)$**

**Рассчитываем и заносим в таблицу  $U_2$  и  $\eta$  при  $\cos\varphi_2 = 0.85$**

Исполнитель	C-ов	Козлов	и т.д.			
$\beta$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_k}{\beta S_{hom} \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_k}$						
$\Delta U \% = \beta (u_{ka} \% \cos\varphi_2 + u_{kp} \% \sin\varphi_2)$						
$U'_{12} = U_{1hom} (1 - \frac{\Delta U \%}{100})$						

### **Строим графики**

Старший по работе на доске, а все остальные студенты у себя в тетрадях, заготавливают оси координат. Каждый из ответственных за точку наносит её на поле графика, расположенного на доске. Оба графика в одной системе координат.

$$\text{Определяем оптимальное значение } \beta \quad (\beta_{opt} = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}})$$

Определение осуществляет очередной исполнитель

**Осуществляем сравнение опытных и теоретических зависимостей.**

Сделать и записать заключение, насколько экспериментальные характеристики подтверждают теоретические предположения.