

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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.03.02 Автоматическая защита электродвигателей**

**Направление подготовки (специальность) 35.04.06 Агроинженерия**

**Профиль образовательной программы Электротехнологии и электрооборудова-  
ние в сельском хозяйстве**

**Форма обучения очная**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Конспект лекций.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Лекция № 1 Условия эксплуатации электроприводов сельскохозяйственного назначения.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Лекция № 2 Аварийные режимы электроприводов.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Лекция № 3 Электромеханические аппараты для защиты электродвигателей от аварийных режимов.....</b>	<b>9</b>
<b>1.4 Лекция 4,5 Электронные устройства для защиты электродвигателей и электроприводов.....</b>	<b>13</b>
<b>1.5 Лекция № 6 Полупроводниковые устройства для защиты электродвигателей и электроприводов.....</b>	<b>15</b>
<b>1.6 Лекция № 7,8 Комбинированные устройства защиты .....</b>	<b>23</b>
<b>2. Методические указания по выполнению практических занятий.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1 Практическое занятие № ПЗ-1 Ознакомление с универсальным лабораторным стендом.....</b>	<b>29</b>
<b>2.2 Практическое занятие № ПЗ-2 Маркировка выводов асинхронного электродвигателя.....</b>	<b>32</b>
<b>2.3 Практическое занятие № ПЗ-3,4 Изучение схемы управления асинхронным электродвигателем из двух мест с защитой от обрыва фазы.....</b>	<b>35</b>
<b>2.4 Практическое занятие № ПЗ-5 Защита электродвигателей от асимметрии тока.....</b>	<b>38</b>
<b>2.5 Практическое занятие № ПЗ-6 Предпусковая защита электродвигателей от понижения сопротивления изоляции и обрыва цепей обмоток.....</b>	<b>39</b>
<b>2.6 Практическое занятие № ПЗ-7,8 Защита от асимметрии напряжения и обратного хода.....</b>	<b>42</b>
<b>2.7 Практическое занятие № ПЗ-9,10 Изучение схемы реверсивного управления асинхронным электродвигателем с защитой от заклинивания ротора.....</b>	<b>43</b>
<b>2.8 Практическое занятие № ПЗ-11,12 Элементы и схемы систем защиты электроприводов на полупроводниковой основе.....</b>	<b>43</b>
<b>2.9 Практическое занятие № ПЗ-13,14 Защита на базе цифровой техники.....</b>	<b>47</b>
<b>2.10 Практическое занятие № ПЗ-15,16 Стенды для испытания устройств защиты.....</b>	<b>52</b>

## **1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

### **1. 1 Лекция №1( 2 часа).**

**Тема: «Условия эксплуатации электроприводов сельскохозяйственного назначения»**

#### **1.1.1 Вопросы лекции:**

1. Классификация помещений по условиям среды.
2. Классификация степеней защиты электрооборудования.
3. Основные условия выбора электродвигателей к конкретной среде эксплуатации.
4. Влияние среды на надежность и бесперебойность работы электродвигателей.

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

1. Классификация помещений по условиям среды.

Нормальная работа электроустановок зависит от различных факторов окружающей среды. На электрические сети и электрооборудование влияют температура окружающей среды и резкие ее изменения, влажность, пыль, пары, газ, солнечная радиация. Эти факторы могут изменять срок службы электрооборудования и кабелей, ухудшать условия их работы, вызывать аварийность, повреждения и даже разрушение всей установки.

Особенно зависят от условий окружающей среды электрические свойства изоляционных материалов, без которых не обходится ни одно электрическое устройство. Эти материалы под влиянием климата и даже изменения погоды могут быстро и существенно менять, а при критических обстоятельствах терять свои электроизоляционные свойства.

Влияние неблагоприятных факторов окружающей среды на электрооборудование необходимо учитывать при проектировании, монтаже и эксплуатации электроустановок. Требования по защите электрооборудования и кабельных изделий от воздействия неблагоприятных факторов в процессе хранения, монтажа и эксплуатации изложены в ПУЭ и СНиП. Влияние неблагоприятных факторов окружающей среды на электрооборудование необходимо учитывать при проектировании, монтаже и эксплуатации электроустановок. Требования по защите электрооборудования и кабельных изделий от воздействия неблагоприятных факторов в процессе хранения, монтажа и эксплуатации изложены в ПУЭ и СНиП. Влияние неблагоприятных факторов окружающей среды на электрооборудование необходимо учитывать при проектировании, монтаже и эксплуатации электроустановок. Требования по защите электрооборудования и кабельных изделий от воздействия неблагоприятных факторов в процессе хранения, монтажа и эксплуатации изложены в ПУЭ и СНиП.

В зависимости от характера окружающей среды и требований по защите электроустановок от ее воздействия в ПУЭ различают внутренние помещения и наружные установки. В свою очередь, внутренние помещения делятся на сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, пыльные, с химически активной средой, пожароопасные и взрывоопасные, а наружные (или открытые) установки — на нормальные, пожароопасные и взрывоопасные. Электроустановки, защищенные только навесами, относят к наружным.

Сухими считают помещения, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60 %. Если в таких помещениях температура не превышает 30 °С, нет технологической пыли, активной химической среды, пожаро- и взрывоопасных веществ, то их называют помещениями с нормальной средой.

Влажные помещения характеризуются относительной влажностью воздуха 60...75 % и наличием паров или конденсирующейся влаги, выделяющихся временно и в небольших количествах. Большая часть электрооборудования рассчитана на работу при относительной влажности, не превышающей 75 %, поэтому в сухих и влажных помещениях используют электрооборудование в нормальном исполнении. К влажным помещениям относят насосные станции, производственные цеха, где относительная

влажность поддерживается в пределах 60...75%, отапливаемые подвалы, кухни в квартирах и т. п.

В сырых помещениях относительная влажность длительно превышает 75 % (например, некоторые цеха металлопроката, цементных заводов, очистных сооружений и т.п.). Если относительная влажность воздуха в помещениях близка к 100 %, т. е. потолок, пол, стены, предметы в них покрыты влагой, то эти помещения относят к особо сырým

На отдельных производствах металлургической и других отраслей промышленности (например, в литейных, термических, прокатных и доменных цехах) температура воздуха длительное время превышает 30 °С. Такие помещения называют жаркими. Одновременно они могут быть влажными или пыльными.

Различают пыльные помещения с токопроводящей и нетокопроводящей пылью. Пыль, не проводящая ток, не ухудшает качество изоляции, однако благоприятствует увлажнению ее и токоведущих частей электрооборудования вследствие своей гигроскопичности.

Пыльными считают помещения, в которых по условиям производства образуется технологическая пыль в таком количестве, что она оседает на проводах, проникает внутрь машин, аппаратов и т.д.

## 2. Классификация степеней защиты электрооборудования.

### Класс 0

У оборудования с нулевым классом, электрическая защита обеспечивается только основной изоляцией, а корпус или открытые токопроводящие части электрооборудования при этом не присоединяются к защитному проводнику электропроводки и в случае пробоя изоляции, защита обеспечивается только воздушным промежутком.

### Класс I

Защита электрооборудования, относящегося к первому классу, обеспечивается основной изоляцией и соединением корпуса или открытых токопроводящих частей, защитным проводником.

В случае пробоя или выхода из строя изоляции, должно сработать установленное защитное устройство для примера можно привести Автоматический выключатель, а корпус или открытые токопроводящие части не могут оказаться под напряжением.

Электрооборудование первого класса соединяется с электрической сетью трехжильным кабелем с защитным проводником.

Если соединение с электрической сетью соединяется двухжильным кабелем, то корпус оборудования должен быть снабжен зажимом (заземляющим болтом или шиной) для подключения защитного проводника.

### Класс II

Ко второму классу защиты, относится электрооборудование, обеспечивающее двойную защиту или усиленную изоляцию, при этом отсутствуют средства подключения защитного заземления.

### Класс III

Электрооборудование, имеющее третий класс защиты, обеспечивается электрическим питанием от источника безопасного (низкого) напряжения.

Для классификации электрооборудования по степени защищенности от пыли и влаги разработан специальный классификатор в соответствии с ГОСТР 12454-96, это IP код.

IP код, представляет собой, набор цифровых и буквенных символов. В качестве примера, можно взять обыкновенный электрощит со степенью защищенности IP31.

Если разобрать этот код, то первая цифра кода определяет степень защищенности электрооборудования от пыли и доступа, в данном случае цифра 3, это защита от частиц меньше среднего диаметра (более 2,5 мм) и защита людей от контакта с токоведущими и движущимися частями.

Вторая цифра (1), определяет степень защиты от влаги, это защита от капель воды, падающих на оборудование вертикально.

### 3. Основные условия выбора электродвигателей к конкретной среде эксплуатации.

Процедура выбора электродвигателей состоит в удовлетворении ряда требований потребителя и сводится к перебору возможных вариантов, в том числе: по роду тока, условиям пуска, конструктивному исполнению, уровню вибрации и шума, мощности и режиму работы.

Выбор по роду тока. Двигатели постоянного тока применяются лишь в тех случаях, когда двигатели переменного тока не обеспечивают требуемых характеристик механизма, либо не экономичны. Для механизмов с продолжительным режимом работы, с редкими включениями и малыми нагрузками при пуске наиболее целесообразен синхронный двигатель, обеспечивающий высокие энергетические показатели в процессе эксплуатации для всей электроустановки в целом. Напряжение двигателя должно соответствовать номинальному напряжению сети.

Двигатели должны обеспечивать номинальную мощность при заданном диапазоне отклонения напряжения от номинального. Знание этого диапазона (оговорено в стандартах и технических условиях на соответствующие типы двигателей) особенно необходимо при выборе двигателей, работающих в автономных сетях,

где мощность нагрузки соизмерима с мощностью сети, что может приводить к существенным колебаниям напряжения.

Выбор по условиям пуска. В зависимости от условий пуска возможно применение двигателей либо основного исполнения, либо его модификаций. Например, основное исполнение асинхронных двигателей серии 4А — двигатели 4А, 4АН с короткозамкнутой обмоткой ротора — применяют при легких условиях пуска (небольшой момент инерции механизма и момент сопротивления) и при небольшом количестве пусков (не более двух в час). При тяжелых условиях пуска следует применять модификацию двигателей с повышенным пусковым моментом типа 4АР. для частых пусков и реверсов при большом моменте инерции механизма предназначена модификация с повышенным скольжением типа 4АС. Для двух последних случаев могут применяться и двигатели с фазовым ротором типа 4АК и 4АКН.

Выбор по конструктивному исполнению. Возможные характеристики окружающей среды в части ее воздействия на электрические машины и трансформаторы, а также категории размещения изложены на сайте. Эти данные приводятся в паспорте устройства и на его табличке. Н Электрические машины, устанавливаемые в помещениях, имеют исполнение IP00 или IP20, при установке на открытом воздухе — не менее IP44, при установке в сырых или особо сырых местах — не менее IP43 и соответствующую изоляцию.

V Особое внимание следует обращать на выбор электрических машин для установок, расположенных во взрывоопасных и пожароопасных зонах. В пожароопасных зонах любого класса могут применяться электрические машины с напряжением до 10 кВ при условии, что их оболочки имеют степень защиты не менее IP44. Для взрывоопасных зон также могут применяться электрические машины с напряжением до 10 кВ. если уровень их защиты не менее указанного.

Выбор способа охлаждения зависит в основном от категории размещения, условий окружающей среды и класса нагревостойкости (температурного индекса) изоляции машины.

При выборе двигателя необходимо, чтобы его рабочее положение (горизонтальное, вертикальное, наклонное), способ крепления (к фундаменту, к производственному механизму и др.), исполнение выходного конца вала и их количество соответствовали одному из нормированных исполнений.

Выбор по уровню вибрации и шума. Электрические машины разбиты на пять классов по уровню шума и на семь — по уровню вибрации. На предельные уровни вибрации и шума накладывают ограничения режимы работы производственных механизмов и условия труда работающих на них людей. Так, повышенный уровень вибрации снижает класс точности станочного оборудования, а повышенный уровень шума приводит к снижению производительности труда работающих. Выбор по мощности и режиму работы. Если двигатель работает в ненормальных режимах, это приводит, как правило, к ухудшению его энергетических показателей, т.е. к повышенному потреблению электрической энергии при одинаковой полезной работе. Опасной для двигателя является перегрузка, так как при этом температура его частей может превысить допустимую, что приведет к его преждевременному выходу из строя. Поэтому одним из основных критериев выбора двигателя по мощности является температура (превышение температуры) обмоток. Судить о температуре отдельных частей двигателя при известном характере процесса их нагрева позволяет его график нагрузки, по которой определяются отдельные потери. Такой подход позволяет так выбрать двигатель, чтобы максимальная температура обмоток не превышала длительно допустимую. Это условие является одним из основных для обеспечения надежной работы двигателя в течение всего срока эксплуатации. Вторым условием выбора является обеспечение устойчивой работы двигателя в периоды максимальной нагрузки или аварийного снижения напряжения.

#### 4. Влияние среды на надежность и бесперебойность работы электродвигателей.

Надежность электродвигателя ПЭД 0 8 зависит от надежности изоляции обмотки статора. Наряду с термо- и баростойкостью изоляция обмотки статора должна иметь стойкость к химическому воздействию рабочей жидкости, заполняющей скважинный прибор, а в аварийных режимах, и к скважинной жидкости, проникнувшей в гидросистему прибора.

Показатели надежности электродвигателей, работающих в условиях НПС [10], позволяют определить основные параметры, которые необходимо контролировать при проведении диагностических работ. Такие параметры легко идентифицируются через диагностические параметры, используемые в электротехническом оборудовании, т.е. электрические параметры отклонений тока и напряжения, изменения составляющих этих величин по амплитуде, фазе, частоте и др. Следовательно, эти параметры, в совокупности с параметрами косвенной информации о состоянии электродвигателя, параметрами тепловых процессов, статорной и роторной обмотках, а также в железе статора, вибрационными и другими, могут использоваться для получения диагностических признаков.

Средние данные о надежности электродвигателей в различных предприятиях отличаются. Это является подтверждением того, что надежность электродвигателей зависит не только от ресурса, но существенно определяется условиями эксплуатации, уровнем и качеством технического обслуживания, климатическими условиями и нагрузкой электрооборудования.

Это замечание о надежности электродвигателей серий ДП, МТМ и МТМК основано как на отечественном, так и зарубежном опыте изготовления и эксплуатации двигателей как металлургического типа с кремнийорганической изоляцией класса Н, так и других типов.

С целью повышения надежности электродвигателей, используемых в вертикальных подпорных агрегатах, институтом ВНИИВЭ выполнена доработка их конструкции. В качестве верхней опоры используется пара подшипников: шариковый радиальный и радиально-упорный с фторопластовым сепаратором, причем вместо консистентной смазки, применяемой в серийных электродвигателях, которая не обеспечивает удовлетворительного отвода тепла ( что особенно сказывается в летний период при

высокой температуре окружающего воздуха), используются жидкие минеральные масла, причем система смазки и охлаждения подшипников выполнена циркуляционной.

Следует отметить, что надежность электродвигателей зависит не только от ресурса, заложенного заводом-изготовителем, но существенно определяется также условиями эксплуатации на НПС, уровнем технического обслуживания, степенью использования электрооборудования, что также указывает на необходимость дальнейшего проведения исследований надежности работы электродвигателей в условиях НПС.

Особенное значение качеству и надежности электродвигателей придается на современном этапе развития материального производства, когда широкое применение получает автоматизированный электропривод, преждевременный отказ одного из элементов которого может привести к нарушению целой технологической цепочки и к значительным материальным потерям.

Эффективность мероприятий по повышению надежности электродвигателей за счет улучшения их эксплуатации становится еще очевиднее, если учесть, что средний возраст машин с 1958 до 1965 г. возрос с 3 до 6 лет, а это должно было бы увеличить интенсивность отказов.

В настоящее время для дальнейшего увеличения надежности электродвигателей необходимо увеличить надежность подшипникового узла.

## **1. 2 Лекция №2( 2 часа).**

### **Тема: «Аварийные режимы электроприводов»**

#### **1.2.1 Вопросы лекции:**

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

.....

#### **1.2.2 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 режимов 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 часовым 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. 3 Лекция №3(2 часа).**

**Тема: «Электромеханические аппараты для защиты электродвигателей от аварийных режимов.»**

#### **1.3.1 Вопросы лекции:**

1. Контакторы и магнитные пускатели.
2. Электромагнитные и тепловые реле.
3. Электромеханические реле времени.
4. Герконовые реле.
5. Автоматические выключатели.



### 1.3.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Контактторы и магнитные пускатели.

Контактор – это двухпозиционный аппарат с самовозвратом, предназначенный для частых коммутаций токов, не превышающих токи перегрузки, и приводимый в действие приводом. Этот аппарат имеет два коммутационных положения, соответствующие включенному и отключенному его состояниям. В контакторах наиболее широко применяется электромагнитный привод. Возврат контактора в отключенное состояние (самовозврат) происходит под действием возвратной пружины, массы подвижной системы или при совместном действии этих факторов.

Пускатель – это коммутационный аппарат, предназначенный для пуска, остановки и защиты электродвигателей без выведения и введения в их цепи сопротивлений резисторов. Пускатели осуществляют защиту электродвигателей от токов перегрузки. Распространенным элементом такой защиты является тепловое реле, встраиваемое в пускатель.

Токи перегрузки для контакторов и пускателей не превышают (8-20)-кратных перегрузок по отношению к номинальному току. Для режима пуска двигателей с фазовым ротором и торможения противотоком характерны (2.5-4)-кратные токи перегрузки. Пусковые токи электродвигателей с короткозамкнутым ротором достигают (6-10)-кратных перегрузок по сравнению с номинальным током.

Электромагнитный привод контакторов и пускателей при соответствующем выборе параметров может осуществлять функции защиты электрооборудования от понижения напряжения. Если электромагнитная сила, развиваемая приводом, при снижении напряжения в сети окажется недостаточной для удержания аппарата во включенном состоянии, то он самопроизвольно отключится и осуществит таким образом защиту от понижения напряжения. Как известно, понижение напряжения в питающей сети вызывает протекание токов перегрузки по обмоткам электродвигателей, если механическая нагрузка на них будет оставаться неизменной.

Контакторы предназначены для коммутации силовых цепей электродвигателей и других мощных потребителей. В зависимости от рода коммутируемого тока главной цепи различают контакторы постоянного и переменного тока. Они имеют главные контакты, снабженные системой дугогашения, электромагнитный привод и вспомогательные контакты. Как правило, род тока в цепи управления, которая питает электромагнитный привод, совпадает с родом тока главной цепи. Однако известны случаи, когда катушки контакторов переменного тока получают питание от цепи постоянного тока.

В этом случае напряжение на катушке отсутствует и его подвижная система под действием возвратной пружины, создающей силу  $F_v$ , придет в нормальное состояние. Возникающая при расхождении главных контактов дуга  $D$  гасится в дугогасительной камере.

Быстрое перемещение дуги с контактов в камеру обеспечивается системой магнитного дутья. В цепь главного тока включена последовательная катушка, которая размещена на стальном сердечнике. Стальные пластины – полюса расположенные по бокам сердечника, подводят создаваемое катушкой магнитное поле к зоне горения дуги в камере. Взаимодействие этого поля с током дуги приводит к появлению сил, которые перемещают дугу в камеру.

Контактор включит цепь с током  $I_0$ , если подать напряжение  $U$  на катушку приводного электромагнита. Поток  $\Phi$ , созданный током, протекающим через катушку электромагнита, разовьет тяговую силу и притянет якорь электромагнита к сердечнику, преодолев силы  $F_v$  противодействия возвратной и  $F_k$  контактной пружин.

Сердечник электромагнита оканчивается полюсным наконечником, поперечное сечение которого больше поперечного сечения самого сердечника. Установкой полюсного наконечника достигается некоторое увеличение силы, создаваемой электромагнитом, а

также видоизменение тяговой характеристики электромагнита (зависимости электромагнитной силы от величины воздушного зазора).

## 2. Электромагнитные и тепловые реле.

Под реле понимают такой электрический аппарат, в котором при плавном изменении управляющего (входного) параметра до определенной наперед заданной величины происходит скачкообразное изменение управляемого (выходного) параметра. Хотя бы один из этих параметров должен быть электрическим. По области применения реле можно разделить на реле для схем автоматики, для управления и защиты электропривода и защиты энергосистем. По принципу действия реле делятся на электромагнитные, поляризованные, тепловые, индукционные, магнитоэлектрические, полупроводниковые и др. В зависимости от входного параметра реле можно разделить на реле тока, напряжения, мощности, частоты и других величин. Отметим, что реле может реагировать не только на входной параметр, но и на разность значений (дифференциальное реле), изменение знака или скорости изменения входного параметра. Иногда реле, имеющее только один входной параметр, должно воздействовать на несколько независимых цепей. В этом случае реле воздействует на другое, так называемое промежуточное реле, которое имеет необходимое число управляемых цепей. Промежуточное реле используется и тогда, когда мощность основного реле недостаточна для воздействия на управляемые цепи. По принципу воздействия на управляемую цепь реле делятся на контактные и бесконтактные. Выходным параметром бесконтактных реле является резкое изменение сопротивления, включенного в управляемую цепь. Разомкнутому состоянию контактов контактного реле соответствует большое сопротивление управляемой цепи бесконтактного реле. Это состояние бесконтактного реле называется закрытым. Замкнутому состоянию контактов контактного реле соответствует малое сопротивление в управляемой цепи бесконтактного реле. Такое состояние бесконтактного реле называется открытым.

По способу включения реле различаются на первичные и вторичные.

## 3. Электромеханические реле времени.

Для получения большой выдержки времени при отпуске необходима высокая магнитная проводимость рабочего и паразитного зазоров в замкнутом состоянии магнитной системы (см. § 5.7). С этой целью все соприкасающиеся детали магнитопровода и якоря тщательно шлифуются. Литой алюминиевый цоколь создает дополнительный короткозамкнутый виток, увеличивающий выдержку времени. У реальных магнитных материалов после отключения намагничивающей обмотки поток спадает до  $\Phi_0$ , который определяется свойствами материала магнитопровода, геометрическими размерами магнитной цепи и магнитной проводимостью рабочего зазора (см. § 5.8). Чем меньше коэрцитивная сила магнитного материала при заданных размерах магнитной цепи и магнитной проводимости рабочего зазора, тем ниже остаточная индукция, а следовательно, и остаточный поток. При этом возрастает наибольшая выдержка времени, которая может быть получена от реле. Применение стали с низким значением  $J_c$  позволяет увеличить выдержку времени.

Отсутствие специальной короткозамкнутой обмотки позволяет все окно магнитопровода занять намагничивающей обмоткой и создать большой запас по МДС. При этом выдержка времени неизменна при снижении питающего напряжения на обмотке до  $0,5(7nM)$ . Такая схема широко применяется в электроприводе. Обмотка реле включается параллельно ступени пускового реостата в цепи якоря. При закорачивании этой ступени обмотка реле замыкается, а его контакты с выдержкой времени включают контактор, шунтирующий следующую ступень пускового реостата

#### 4 Герконовые реле.

Другим недостатком электромагнитных реле является их инерционность, обусловленная значительной массой подвижных деталей. Для получения необходимого быстродействия приходится применять специальные схемы форсировки, что приводит к снижению надежности и росту потребляемой мощности. Перечисленные недостатки электромагнитных реле привели к созданию реле с герметичными магнитоуправляемыми контактами (герконами).

Простейшее герконовое реле с замыкающим контактом. Контактные сердечники (КС) 1 и 2 изготавливаются из ферромагнитного материала с высокой магнитной проницаемостью (пермаллой) и ввариваются в стеклянный герметичный баллон 3. Баллон заполнен инертным газом — чистым азотом или азотом с небольшой (около 3%) добавкой водорода. Давление газа внутри баллона составляет  $(0,4—0,6) \cdot 10^5$  Па. Инертная среда предотвращает окисление КС. Баллон устанавливается в обмотке управления 4. При подаче тока в обмотку возникает магнитный поток  $\Phi$ , который проходит по КС 1 и 2 через рабочий зазор б между ними и замыкается по воздуху вокруг обмотки.

Упрощенная картина магнитного поля показана на рис. 11.2. Поток  $\Phi$  при прохождении через рабочий зазор создает тяговую электромагнитную силу  $P_{\text{э}}$ , которая, преодолевая упругость КС, соединяет их между собой. Для улучшения контактирования поверхности касания покрываются тонким слоем (2—50 мкм) золота, родия, палладия, рения, серебра и др.

При отключении обмотки магнитный поток и электромагнитная сила спадают и под действием сил упругости КС размыкаются. Таким образом, в герконовых реле отсутствуют детали, подверженные трению (места крепления якоря в электромагнитных реле), а КС одновременно выполняют функции магнитопровода, токопровода и пружины. В связи с тем что контакты в герконе управляются магнитным полем, герконы называют магнитоуправляемыми контактами.

Один из КС переключающего геркона может быть выполнен из немагнитного материала. Герконовое реле имеет два подвижных КС 2, два неподвижных КС и две обмотки управления. При согласном включении обмоток замыкаются КС 1 и 2. При встречном включении обмоток КС 1 замыкается с КС 5, а КС 2 с КС 6. При отсутствии тока в обмотках все КС разомкнуты. Герконовое реле имеет переключающий контакт 3 сферической формы. При согласном включении обмоток 7 и 8 контакт 3 притягивается к КС 1 и КС 2 и замыкает их. После отключения обмоток 7 и 8 и при согласном включении обмоток 9 и 10 контакт 3 замыкает КС 5 и КС 6.

Так как КС герконов выполняют функции возвратной пружины, им придаются определенные упругие свойства. Упругость КС обуславливает возможность их вибрации («дребезга») после удара, который сопутствует срабатыванию. Длительность такой вибрации достигает 0,25 мс при общем времени срабатывания 0,5—1 мс. Одним из способов устранения влияния вибраций является использование жидкометаллических контактов. В переключающем герконе (рис. 11.4, а) внутри подвижного КС 1 имеется капиллярный канал, по которому из нижней части баллона 4 поднимается ртуть 5. Ртуть смачивает поверхности касания КС 1 с КС 2 или КС 3. В момент удара контактов при срабатывании возникает их вибрация. Из-за ртутной пленки на контактной поверхности КС 1 вибрация не приводит к разрыву цепи. В конструкции на рис. 11.4, б между КС 2, КС 3 и ртутью 5 находится ферромагнитная изоляционная жидкость 6. При возникновении магнитного поля ферромагнитная жидкость 6 перемещается вниз, в положение, при котором поток будет наибольшим. Ртуть вытесняется вверх и замыкает КС 2 и КС 3. Следует отметить, что жидкометаллический контакт позволяет уменьшить переходное сопротивление и значительно увеличить коммутируемый ток. Наличие ртути удлиняет процесс разрыва контактов, что увеличивает время отключения реле.

#### 5 Автоматические выключатели

Автоматические выключатели (автоматы) предназначены для оперативных включений и отключений низковольтных электрических цепей и защиты их от токов КЗ и перегрузок, а также от исчезновения или снижения напряжения сети.

Роль защитных элементов, реагирующих на отклонение той или иной контролируемой величины от своего нормального значения, выполняют расцепители. В автоматах могут быть установлены следующие расцепители:

максимального тока, срабатывающие мгновенно при токе КЗ в цепи;

минимального напряжения, срабатывающие в случае понижения или исчезновения напряжения;

обратного тока, которые срабатывают при изменении направления тока в цепи постоянного тока;

независимые (ни от каких параметров электрической цепи), которые служат для дистанционного отключения автоматов;

тепловые, применяемые для защиты от перегрузок (по типу тепловых реле пускателей);

комбинированные, включающие электромагнитные и тепловые расцепители одновременно.

Автоматические выключатели снабжаются механизмом свободного расцепления (МСР), который позволяет обеспечить отключение автомата в процессе включения или после него.

На рис. схематично представлена конструкция автоматического выключателя, имеющего дугогасительные 1 и главные 2 контакты. Главные контакты, выполняемые из меди, имеют малое переходное сопротивление и могут длительно пропускать большой ток. Дугогасительные контакты, выполняемые из металлокерамики, включаются параллельно главным.

Включение автомата осуществляется вручную при повороте рукоятки 7 по часовой стрелке вокруг оси ОЗ или дистанционно электромагнитным приводом 8. При этом рычаги 5 механизма свободного расцепления перемещают вправо контактный рычаг 3, преодолевая усилие отключающей пружины 4. При повороте рычага 3 вокруг оси О, замыкаются дугогасительные контакты 7, сжимая свою амортизационную пружину, затем — главные 2. Включенный автомат становится на защелку при перемещении шарнирного соединения Ог вниз.

Принципиальная конструкция автоматического выключателя

Отключение автомата осуществляется вручную путем поворота рукоятки против часовой стрелки или автоматически и дистанционно при протекании тока по обмотке отключающего электромагнита расцепителя 6. Его сердечник перемещает шарнир Ог вверх и жесткая система рычагов 5 "ломается" по шарниру. Отключающая пружина 4 отключает выключатель. Возникающая между контактами 1 дуга гасится в дугогасительной камере путем деления на ряд дуг металлическими пластинами 9.

#### **1. 4 Лекция №4,5 ( 4 часа).**

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

##### **1.4.1 Вопросы лекции:**

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

##### **1.4.2 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, предотвращающего 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 превышающем 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 ( $ПВ = 25\%$ ) 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 ( $tr < 5с$ )

$$I_{вст} \geq 0,4 I_{пуск};$$

при тяжелом пуске ( $tr > 10с$ ) 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 нагрузка 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.

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.

### **1.5 Лекция №6 (2 часа).**

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

#### **1.5.1 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.

#### **1.5.2 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, предотвращающего 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 превышающем 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 ( $P_B = 25\%$ ) 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 ( $t_p < 5c$ )

$$I_{вст} \geq 0,4 I_{пуск};$$

при тяжелом пуске ( $t_p > 10c$ ) 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:

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

где  $I_{\text{средн}}$  – среднее, а  $I_{\text{фазы макс}}$  – 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.

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 большое распространение в различных датчиках.

Обозначение фотодиода на схемах:



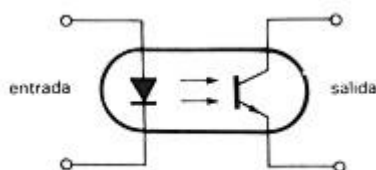




Электронный элемент, в основе которого используется фотодиод в паре со светодиодом получил название оптопара (или оптрон) очень широко применяется в технике в цепях, где требуется гальваническая развязка. Например используется в импульсных блоках питания для организации обратной связи между входом и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

В качестве фотоэлемента в оптроне также применяются фототранзисторы или фоторезисторы

Схемное обозначение оптрона:



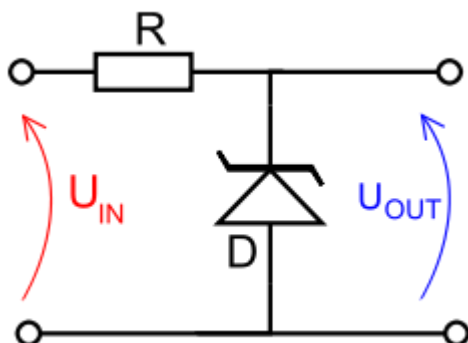
Еще один элемент на основе полупроводникового диода- стабилитрон. Его основное предназначение- поддержание напряжения источника питания на заданном уровне. Происходит это следующим образом:

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 балластного резистора (разница напряжений должна-же где-то "осаживаться"! ). Такая схема называется простейший стабилизатор:



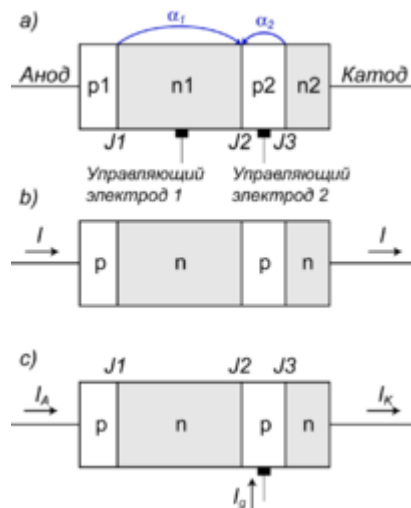
Так- же во многих устройствах в цепях питания стабилитроны довольно часто используются просто в качестве предохранителей: при превышении допустимого значения происходит пробой стабилитрона, что защищает остальные, более дорогостоящие, элементы от выхода их из- строя.

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 р-п-р-п, содержащий три последовательно соединённых р-п-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 шпindelного 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.

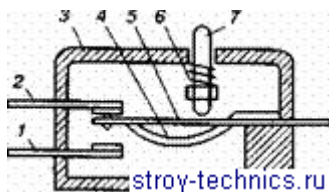


Рис. 10.7. Микропереключатель

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, нихрома, манганина, а также нанесен слой полупроводника или металлической пленки. Подвижная токосъемная щетка скользит по зачищенной контактной дорожке (непосредственно по проволоке или по соединенным с ней контактам).

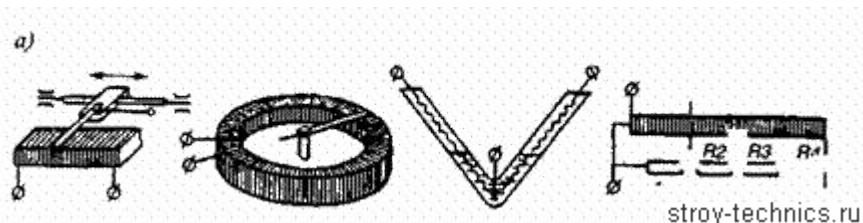


Рис. 10.8. Реостатные преобразователи

Наряду с рассмотренными преобразователями при измерении углов наклона конструкций и рабочих органов строительных машин используются также и преобразователи, в которых высокоомное 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 проволоочными элементами из константана, нихрома 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 подключается 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.

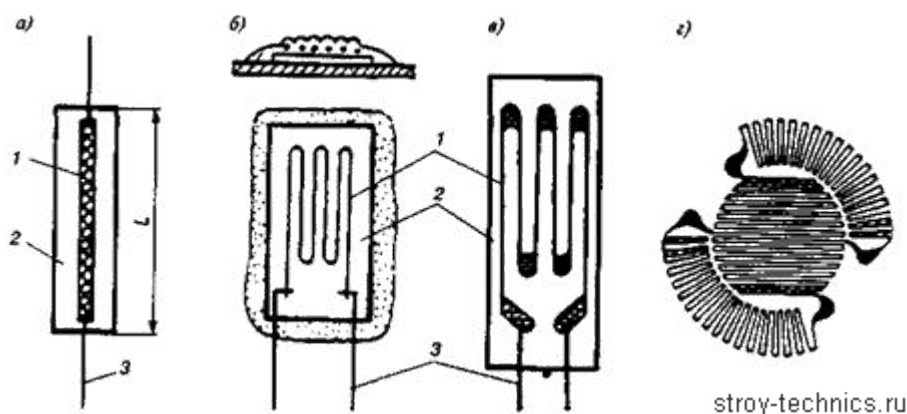


Рис. 10.9. Тензометрические преобразователи

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 усилительной 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.

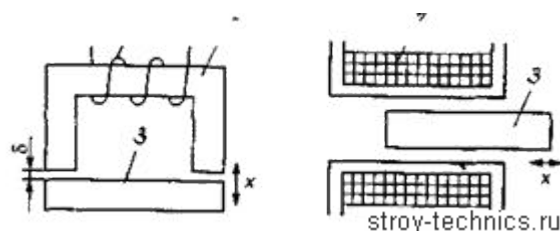
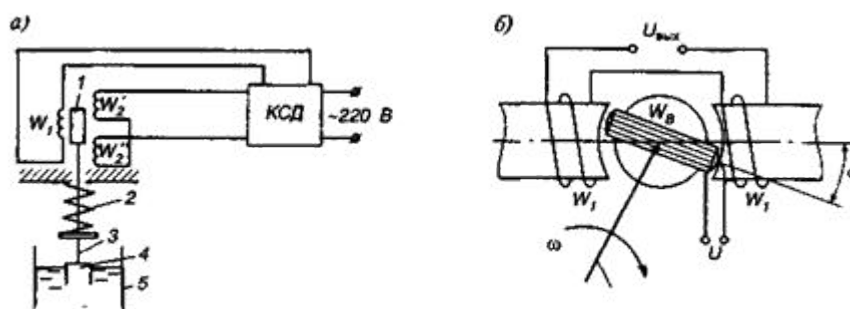


Рис. 10.11. Простые индуктивные преобразователи

Преобразователь состоит из магнитопровода 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 намотана первичная обмотка  $W$ , 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 уравнивания 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

Рис. 10.12. Дифференциальные трансформаторы с подвижным сердечником

## 1. 6 Лекция №7,8(4 часа).

### Тема: «Комбинированные устройства защиты»

#### 1.6.1 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.

#### 1.6.2 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. Контактors различаются 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. Контактors переменного тока серий КТ6000, КТ7000, КТП600 выпускаются на токи от 63 до 1000А и имеют от двух до 5 (чаще всего 3) главных контактов.

Контактors 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 различаются 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.

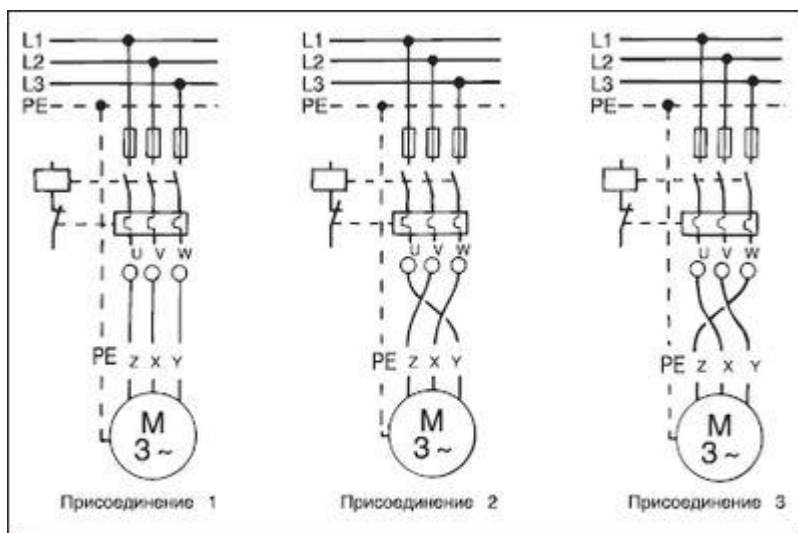


Рис. 6. В определенных случаях подкорректировать асимметрии тока в обмотках можно переключением фазных проводов

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.

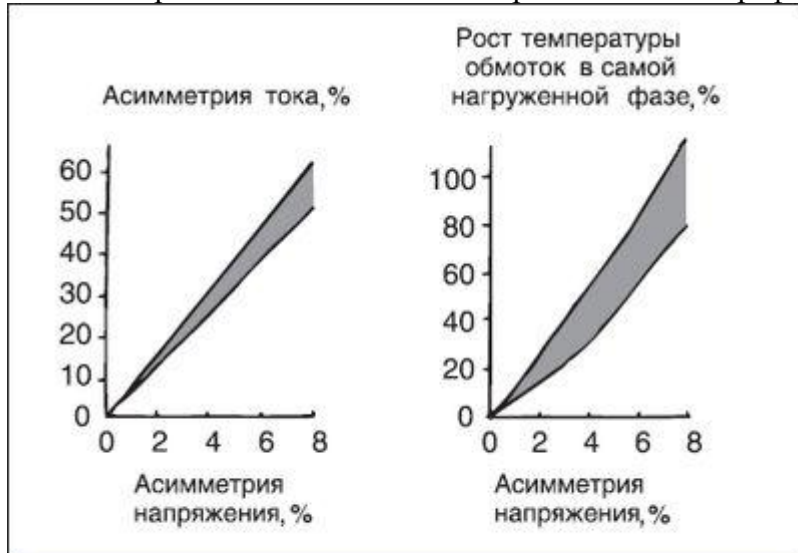


Рис. 7. Зависимость между асимметрией тока, напряжения и нагревом обмоток двигателя

### 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 намагничивающий ток, отстающий по фазе от напряжения на угол, близкий к  $90^\circ$ , 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.

#### 4Схемы защиты от понижения сопротивления изоляции

Снижение сопротивления изоляции от 0 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 1,5 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 токопро-водящей 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 неисправны 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 - 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 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 гз 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 Р1 отключает катушку О / С фидерного автоматического выключателя АФВ, который отключает поврежденную сеть. Контакт Р2 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 сильнее.

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 отмывки. При этом сопротивление изоляции ПП, выполненных на гетинаксе, должно быть не менее 500 МОм. Затем ПП обрабатывают на крацовочном станке.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **3.1 Практическое занятие №1( 2 часа).**

**Тема: «Ознакомление с универсальным лабораторным стендом»**

#### **3.1.1 Задание для работы:**

1. Методика тарировки весового механизма для измерения вращающего момента
2. Основные правила составления и чтения схем электроустановок

#### **3.1.2 Краткое описание проводимого занятия:**

##### **Методика тарировки весового механизма для измерения вращающего момента**

Для измерения вращающего момента, развиваемого электродвигателем, часто используется балансирный механизм, по углу отклонения которого можно судить о величине развиваемого момента. Для этой цели механизм должен быть соответствующим образом отградуирован и оттарирован. В условиях лаборатории проще всего градуировку шкалы указателя момента осуществить равномерно по всей шкале, например, в миллиметрах. Тарировку такой шкалы проще всего провести следующим образом.

К плечу  $R_T$  балансирного устройства, длину которого предварительно измеряют, прикладывается сила  $F_T$ , такой величины, чтобы стрелка указателя момента отклонилась не менее, чем на  $2/3$  максимальной длины шкалы (См. рисунок). Количество делений шкалы  $N_T$ , на которое стрелка отклонилась, фиксируется и рассчитывается соответствующая отклонению длина дуги шкалы

$$L_T = N_T / \mu_{ш},$$

где  $\mu_{ш}$  - масштаб шкалы, дел./м. Так, если деления на шкале нанесены или пронумерованы через каждый миллиметр  $\mu_{ш} = 1000$  дел./м.

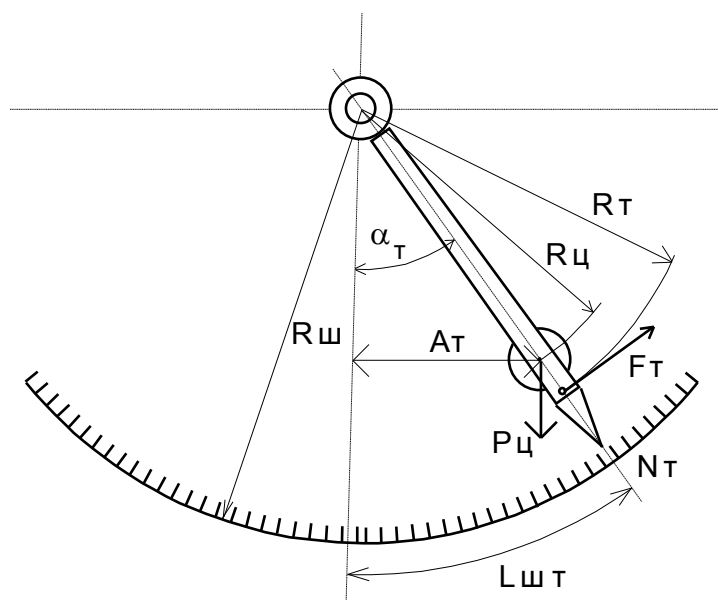
Измеряется также радиус дуги шкалы  $R_{ш}$  в метрах.

Измерение силы осуществляется динамометром или взвешиванием грузов, с помощью которых эта сила обеспечивается. При этом

$$F_T = 9,81 m_T (\text{Нм}) \text{ или } F_T = 9,81 F_{ТД} (\text{Нм}),$$

где  $m_T$  - масса грузов, кг;

$F_{ТД}$  - показание динамометра, кГ.



**Рис. 1: Кинематическая схема к тарировке балансирующего устройства.**

Приложенный при тарировке момент

$$M_T = F_T * R_T \text{ (Нм)}$$

уравновешивается противодействующим моментом, равным произведению веса балансирующего устройства  $P_{ц}$  на смещение  $A_T$  центра тяжести от вертикальной линии, проходящей через ось балансирующего устройства

$$M_T = M_{пр} = P_{ц} A_T = P_{ц} R_{ц} \sin \alpha_T = P_{ц} R_{ц} \sin \frac{L_{шт}}{R_{ш}} = P_{ц} R_{ц} \sin \frac{N_T}{\mu_{ш} R_{ш}}.$$

Откуда

$$P_{ц} * R_{ц} = M_T / \sin \frac{N_T}{\mu_{ш} R_{ш}}.$$

Тогда момент при произвольном отклонении стрелки

$$M = P_{ц} R_{ц} \sin \frac{N}{\mu_{ш} R_{ш}} = \frac{M_T}{\sin \frac{N_T}{\mu_{ш} R_{ш}}} \sin \frac{N}{\mu_{ш} R_{ш}}.$$

Например, при тарировке стенда для исследования пусковых свойств асинхронного электродвигателя сила  $F_T$  создавалась весом груза, подвешенного через шкив. При этом были измерены и получены следующие данные:  $R_T = 0,415\text{м}$ ;  $m_T = 0,31\text{кг}$ ;  $N_T = 194\text{дел}$ ;  $R_{ш} = 0,473\text{м}$ ;  $\mu_{ш} = 1000\text{дел/м}$  (деления на шкале пронумерованы через 1 мм, нанесены через 5 мм). Подставив эти данные в уравнение момента, получим

$$M = \frac{9,81 * 0,31 * 0,415}{\sin \frac{194}{1000 * 0,473}} \sin \frac{N}{1000 * 0,473} = 3,16 \sin \frac{N}{473}.$$

Таким образом, если при измерении стрелка отклонилась на  $N$  делений, то искомый момент, действующий на весовой механизм,

$$M = 3,16 \sin \frac{N}{473} (\text{Нм}),$$

где  $\frac{N}{473}$  - угол отклонения стрелки в радианах.

Преподаватель распределяет узлы собираемой схемы по исполнителям.

Получив задание на сборку определённого узла схемы, очередной студент выполняет следующие действия:

1. Каждую клемму, входящую в узел, последовательно:

- показывает указкой на плакате;
- называет выводом какого элемента и какого аппарата она является;
- находит и показывает всем студентам эту клемму на стенде.

2. После того как все клеммы, входящие в узел, будут перечислены, указка откладывается в сторону, берутся соединительные провода и производится сборка в следующем порядке:

- Выбирается самая левая клемма на стенде из показанных и присоединяется к ней наконечник провода, длина которого достаточна для присоединения к ближайшей клемме, расположенной правее;
- К этой клемме добавляется наконечник следующего провода, длина которого достаточна для присоединения к клемме расположенной правее;
- Действия повторяются, пока не будут соединены все клеммы, входящие в узел.

Примечание. При недостаточной длине проводов можно соединить два провода последовательно с помощью свободных клемм на аппаратах, не связанных с собираемой цепью электрически. При переходе на правую часть стенда воспользоваться переходными клеммами стенда. Клеммы следует закручивать плотно, но не чрезмерно.

## Основные правила составления и чтения схем электроустановок

### Определение, виды и типы схем

**Специальные чертежи**, на которых отображаются различные цепи устройств и установок, а также сообщаются сведения о их монтаже и эксплуатации, *называются схемами*.

**Схема** – это графический конструкторский документ, на котором при помощи условных графических обозначений (УГО) изображены электрические, механические, гидравлические, пневматические и другие **составные части** изделия и **связи** между ними.

В зависимости от **вида** элементов, входящих в устройство, различают схемы:

- Кинематические – К;
- Пневматические – П;
- Гидравлические – Г;
- Электрические – Э;
- Комбинированные – С.

В зависимости от **назначения** различают следующие **типы** схем:

- Структурные – 1;
- Функциональные – 2;
- Принципиальные (полные) – 3;

- Монтажные (соединений) - 4;
- Подключения - 5;
- Общие - 6;
- Расположения - 7.

При выполнении лабораторных работ в основном будут необходимы электрические принципиальные и монтажные схемы.

**Электрическая принципиальная схема (Э3)** включает в себя **полный состав** электрических **элементов** устройства и определяет **взаимосвязь** между элементами в устройстве. **Используется** эта схема для изучения принципа работы устройства, а также при его наладке, регулировке, контроле и ремонте. По ней могут быть составлены другие схемы, например, монтажная схема.

**Электрическая монтажная схема (Э4)** показывает размещение элементов в устройстве, способы и пути их соединения, места соединения. **Она служит** в основном для установки и соединения элементов при монтаже, но может использоваться и при наладке.

Основные правила выполнения и чтения электрических схем, а также условные графические обозначения элементов электрооборудования и их позиционные обозначения были изучены на втором курсе по дисциплине «Монтаж электрооборудования и средств автоматизации»

### 3.1.3 Результаты и выводы:

Изучили принцип тарирования балансировочного механизма для определения момента и правила составления и чтения схем электроустановок.

## 3.2 Практическое занятие №2( 2 часа).

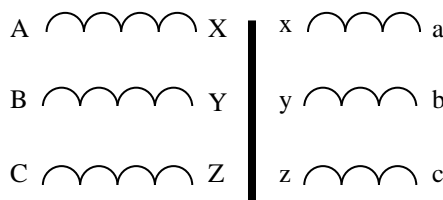
**Тема: «Маркировка выводов асинхронного электродвигателя»**

### 3.2.1 Задание для работы:

1. Маркировка обмоток трёхфазного трансформатора
2. Схема пробника

### 3.2.2 Краткое описание проводимого занятия:

Как известно, обозначать выводы обмоток трёхфазных трансформаторов принято согласно международному стандарту: начала обмоток ВН – заглавными латинскими буквами А, В, С, а концы – соответственно X, Y, Z; начала обмоток НН а, b, с. А концы – x, y, z.

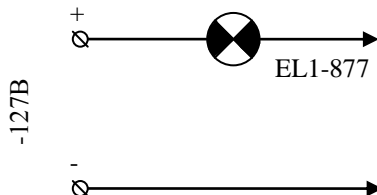


**Рис. 1. Стандартная маркировка обмоток трёхфазного трансформатора.**

На практике маркировка выводов на клеммной коробке трансформатора может отсутствовать. В этом случае выводы обмоток обозначают, используя следующий принцип: одну из обмоток (как правило, обмотку ВН) маркируют произвольным образом, принимая один из её выводов за начало, другой за конец. (начало и конец обмотки - понятие условное). Маркировку начал и концов остальных обмоток производят с учётом взаимного направления намотки и их расположения на стержнях трансформатора. Для

этого используют различные методы, суть которых основана на наведении взаимной индукции в обмотках под действием магнитного потока, создаваемого одной из обмоток. Маркировку выводов трёхфазного трёхстержневого двухобмоточного трансформатора производят в следующей последовательности:

- Определяют выводы, принадлежащие обмоткам (ВН и НН);
- Определяют вид обмоток (ВН или НН), и номера стержней, на которых они расположены;
- Маркируют начала и концы обмоток ВН;
- Маркируют начала и концы обмоток НН;



**Рис. 2. Схема пробника**

#### **Осуществляем «прозвонку»**

1. Щупом, присоединённым к отрицательному выводу сети, касаемся первой клеммы, а вторым щупом поочерёдно прикасаемся к оставшимся клеммам. При исправном трансформаторе должна быть только одна клемма, сопротивление между которой и первой клеммой близко к нулю и лампочка при её касании щупом будет гореть. Именно эти клеммы, принадлежащие одной обмотке, вносим в ячейки второго и третьего столбцов таблицы. Если клемм с низким сопротивлением более 2-х – имеется замыкание между обмотками, а если таких клемм нет – имеется обрыв обмотки.

*Работу выполняет очередной исполнитель*

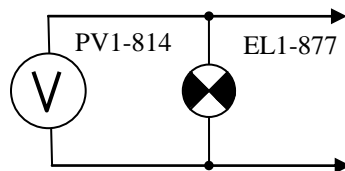
2. Далее найденная пара клемм с низким сопротивлением «отбрасывается», выбирается следующая по порядку клемма, и также поочерёдно прозванивается цепь между этой клеммой и оставшимися клеммами. Результаты заносятся, как и в предыдущем случае, в следующую строку таблицы.

*Работу выполняет очередной исполнитель*

И так далее до обнаружения выводов всех обмоток.

#### **Определяем расположение обмотки ВН и НН на стержнях и принадлежность найденных обмоток к обмоткам ВН и НН**

##### **Заготавливаем схему**



**Рис.3: Схема пробника для загрузки обмоток с одновременным измерением на них напряжения**

**Поскольку номера стержней назначаются произвольно, считаем, что одна из обмоток, например, первая лежит на первом стержне магнитопровода трансформатора**

*В соответствии с этим в пятом столбце таблицы в строке первой обмотки проставлен номер стержня, равный 1.*



**Подаём напряжение на первую обмотку ~127 вольт**

*Работу по данному и следующему пунктам выполняет очередной исполнитель*

**Пробником измеряем напряжения на остальных обмотках**

На обмотке, лежащей на том же стержне, что и обмотка, на которую подано напряжение, также будет фиксироваться напряжение. В её строке в пятом столбце проставляется номер стержня. А в зависимости от величины напряжения по сравнению с поданным на первую обмотку в шестом столбце проставляется **ВН** и **НН** напротив соответствующей обмотки. Напряжения на обмотках, лежащих на других стержнях будут равно или близким к нулю, так как при загрузке любой из этих обмоток лампой накаливания магнитный поток будет замыкаться по другому стержню.

**Далее назначаем номер стержня следующей обмотке, подаём на неё напряжение и находим соответствующую ей другую обмотку**

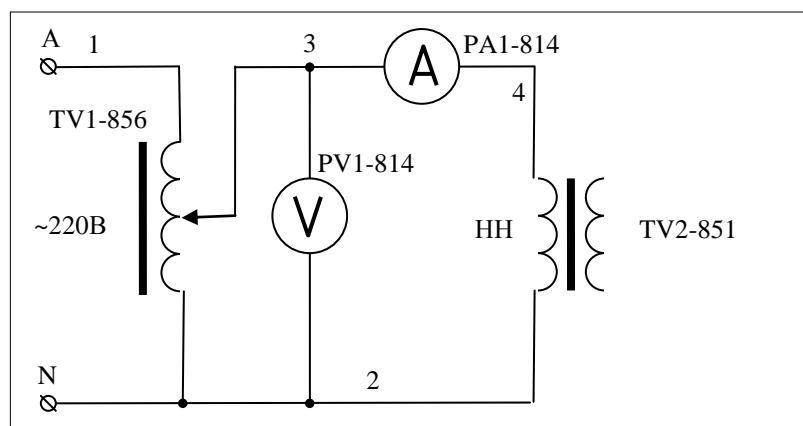
*Работу выполняет очередной исполнитель и отмечает в таблице номер стержня, на котором лежит найденная им обмотка, и принадлежность обмоток к ВН или НН.*

**И, наконец, подаём напряжение на третью обмотку и ищем соответствующую ей обмотку**

*Работу выполняет исполнитель и отмечает в таблице номер стержня, на котором лежат обмотки и их принадлежность к обмоткам ВН и НН.*

**Определяем номинальное напряжение обмотки НН.**

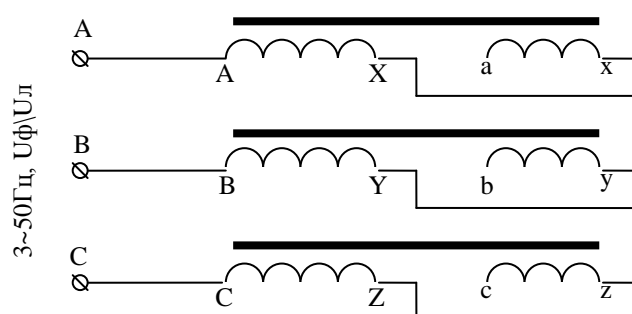
**Соберём схему**



**Рис. 4: Принципиальная схема установки для снятия вольтамперной характеристики**

Таблица 2

**Обмотки ВН и НН соединяем в двойную звезду и на обмотку ВН подаём номинальное трёхфазное напряжение**



**Рис. 6: Схема соединения обмоток трансформатора в двойную звезду**

### 3.2.3 Результаты и выводы:

Научились определять выводы, принадлежащие одной обмотке, и различать выводы. Освоить методику маркировки начал и концов обмоток. Изучили схему пробника.

### 3.3 Практическое занятие №3,4( 4 часа).

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

#### 3.3.1 Задание для работы:

1. Диаграммы входных цепей реле обрыва фазы
2. Схема включения электродвигателя с возможностью управления из двух мест

#### 3.3.2 Краткое описание проводимого занятия:

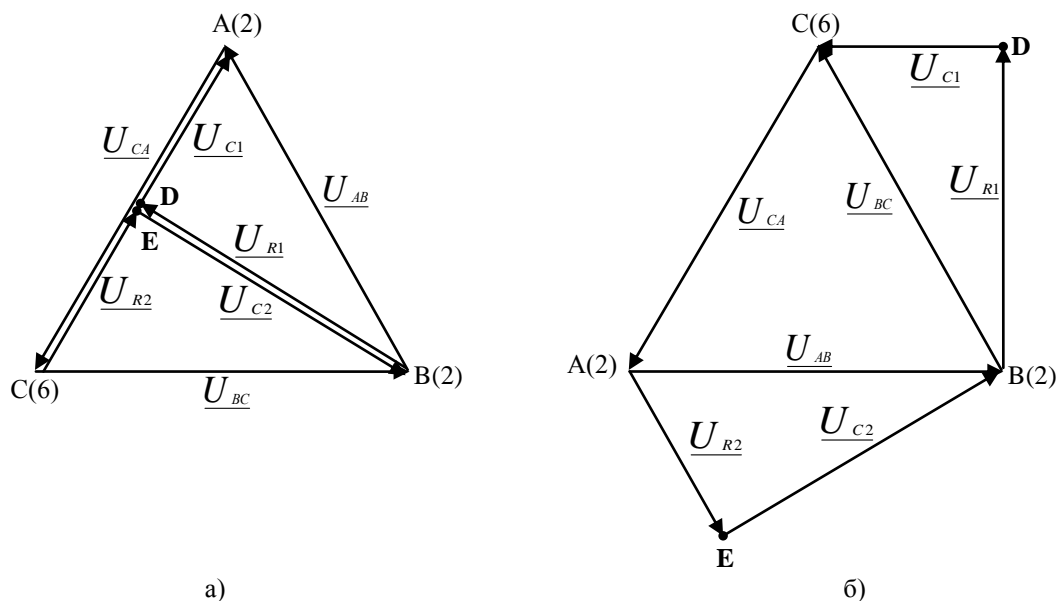
Схема предназначена для управления электродвигателем, работающим под наблюдением оператора, местонахождение которого в процессе работы может изменяться. Например, при обслуживании поточной технологической линии оператор может находиться или у центрального пульта управления, обозревая и управляя всеми 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 QFI, теплового реле КК1, реле обрыва фазы А1 типа Е 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 А1 обрыва фазы типа Е511 состоит из 2-х цепей (R1, C1 и R2, C2), соединённых последовательно и подключённых каждая на линейное напряжение электрической сети (клеммы 2 – фаза А, 4- фаза В, 6- фаза С).



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

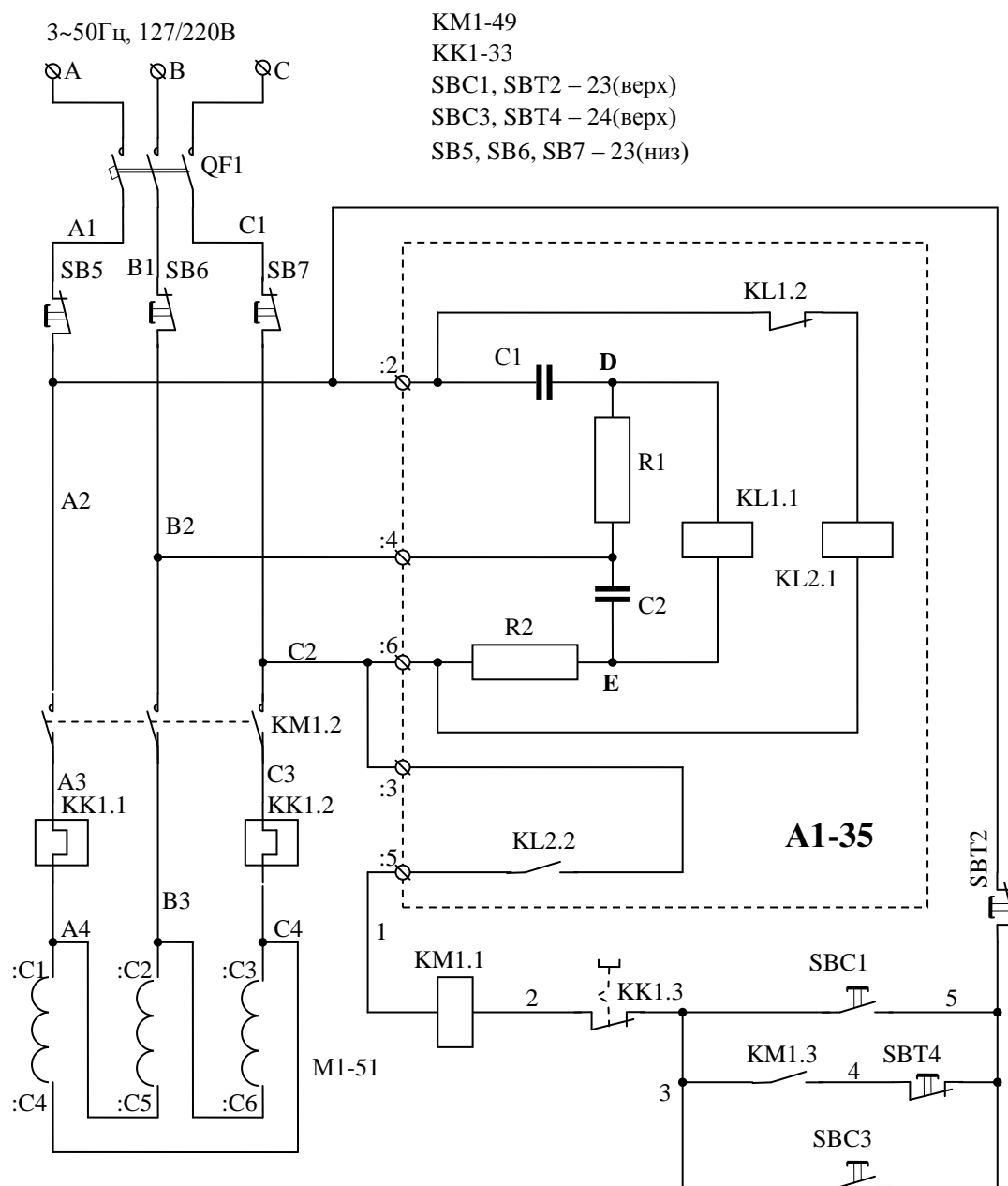
Емкости и сопротивления резисторов подобраны таким образом, что при симметричной системе напряжений в сети, а следовательно, и на клеммах 2, 4, 6 напряжение между точками **D** и **ERC** цепи равно нулю (рис. 1а). Поэтому равно нулю и напряжение на обмотке KL1.1 промежуточного реле KL1. Контакт этого 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 (А,С,В), то между точками **D**и**ERC** 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 включён, 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.



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

### 3.3.3 Результаты и выводы:

Изучили схему управления электродвигателем с помощью магнитного пускателя, устройство и принцип действия реле обрыва фазы типа Е511.

### 3.4 Практическоезанятие №5( 2 часа).

**Тема: «Защита электродвигателей от асимметрии тока»**

#### 3.4.1 Задание для работы:

1. Методы защиты от асимметрии тока
2. Условия самовозбуждения генератора

#### 3.4.2 Краткое описание проводимого занятия:

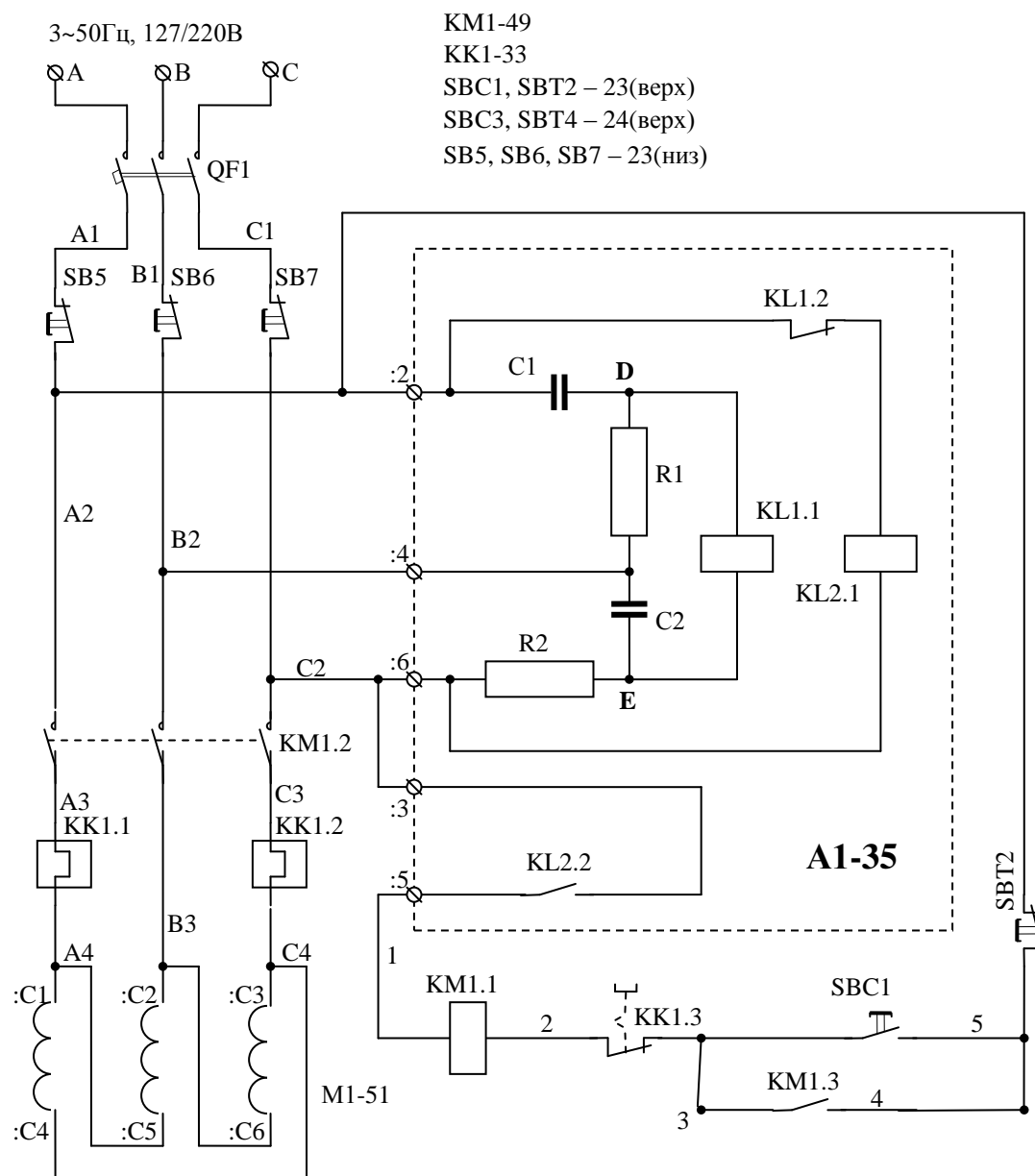
Емкости и сопротивления резисторов подобраны таким образом, что при симметричной системе напряжений в сети, а следовательно, и на клеммах 2, 4, 6 напряжение между точками **D** и **ERC** цепи равно нулю (рис. 1а). Поэтому равно нулю и напряжение на обмотке KL1.1 промежуточного реле KL1. Контакт этого 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 (А,С,В), то между точками **D**и**ERC** 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 М1, если он работал, и не позволит ему включиться, если до обрыва фазы он был отключен.

Тепловое реле КК1 служит для защиты электродвигателя М1 от перегрузки. Оно состоит из двух нагревательных элементов КК1.1 и КК1.2, 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 КК1.3 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 – КМ 1.1 – КК1.3 – SBC1 – SBT2 – N. Пускатель KM1 срабатывает, замыкаются его силовые контакты KM1.2, через которые запитываются обмотки электродвигателя М1. 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 включён, 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.



**Рис. 1: Схема включения электродвигателя**

### 3.4.3 Результаты и выводы:

Изучить схему защиты электродвигателем с помощью реле типа E511, и ознакомиться с условиями самовозбуждения генератора.

### 3.5 Практическое занятие №6( 2 часа).

**Тема:** «Предпусковая защита электродвигателей от понижения сопротивления изоляции и обрыва цепей обмоток»

#### 3.5.1 Задание для работы:

1. Схема подключения трёхфазного асинхронного двигателя к однофазной сети
2. Принципы образования вращающего момента при пуске и в рабочем режиме

### 3. Степень использования номинальной мощности

#### 3.5.2 Краткое описание проводимого занятия:

Асинхронные электродвигатели широко используются для вращения различных механизмов. В процессе эксплуатации электродвигателей могут иметь место повреждения обмоток, а также ненормальные режимы работы.

Наиболее опасными повреждениями являются многофазные короткие замыкания. Они вызывают значительные разрушения и сопровождаются понижением напряжения в питающей сети, нарушая нормальную работу остальных потребителей. Для защиты от этих видов повреждений служит токовая отсечка.

Одним из наиболее распространенных видов ненормального режима является перегрузка, вследствие которой возможны недопустимый перегрев и повреждение изоляции обмоток, сопровождающиеся замыканием на землю или между фазами. Защита от перегрузки может выполняться с действием на отключение, на разгрузку или на сигнал. Такой защитой является максимальная токовая защита.

Токовая отсечка и максимальная токовая защита двигателя обычно выполняются одним токовым реле типа РТ-80.

#### Порядок выполнения

1. Ознакомиться со структурной схемой защиты и управления асинхронным двигателем (рис. 10.1), на ее основе составить, принципиальную схему защиты и управления.
2. Используя исходные данные из табл. 10.1, рассчитать ток срабатывания токовой отсечки, ток и время срабатывания максимальной токовой защиты, определить коэффициенты чувствительности выбранных защит.
3. Настроить реле защиты на выбранные параметры.
4. Проверить действие защиты при различных повреждениях, создавая КЗ и перегрузку соответствующими переключателями на стенде.
5. По результатам работы сделать выводы.

Таблица 10.1 Исходные данные

Ином, А	Ипуск, А	I 2х-фазного КЗ, А
3	11	80

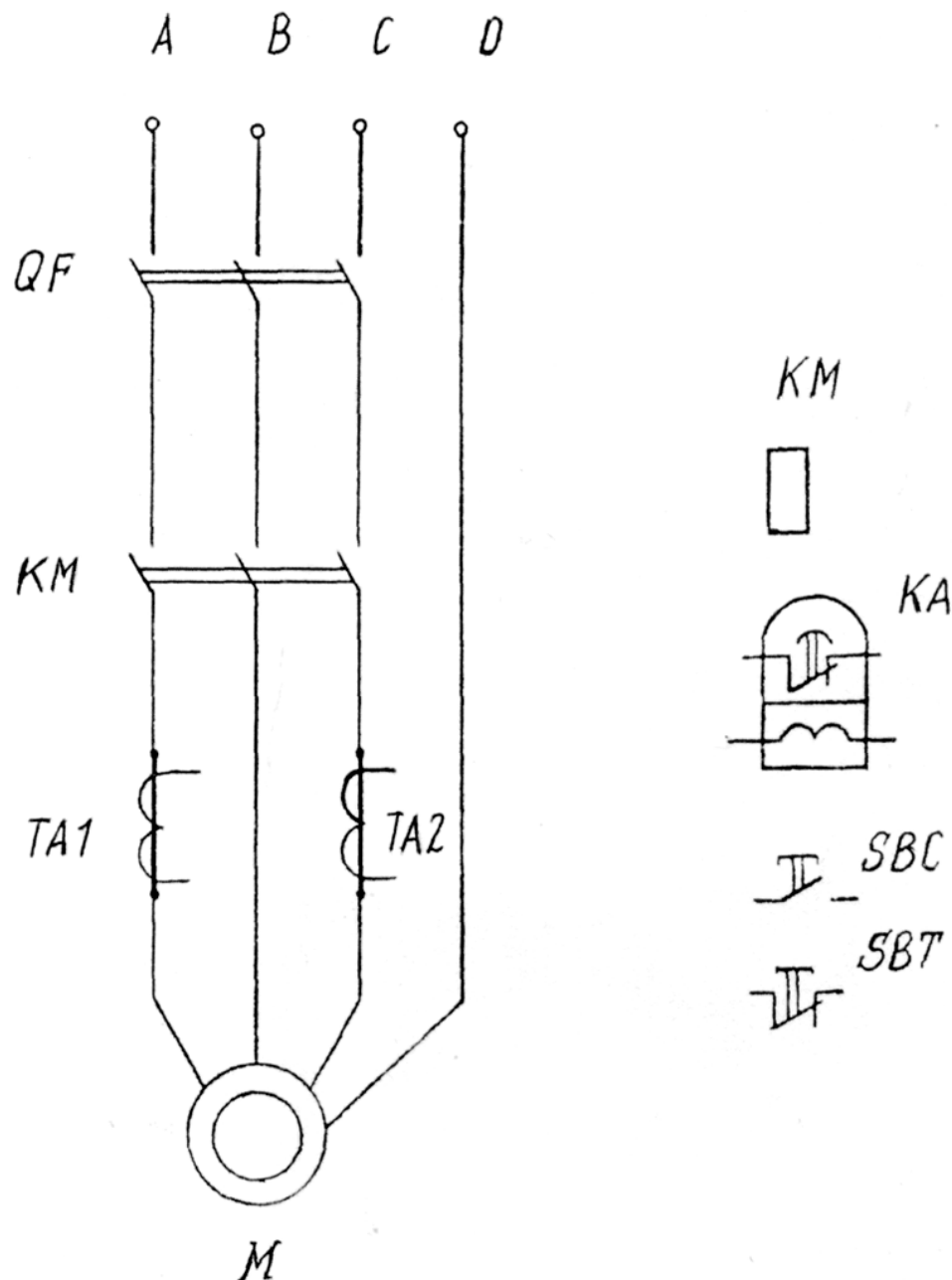


Рис. 10.1. Структурная схема защиты и управления асинхронным двигателем

#### Контрольные вопросы

1. Всегда ли можно выполнить защиту асинхронного двигателя по схеме включения индукционного реле на разность токов двух фаз?
2. Во время работы асинхронного двигателя произошел обрыв одной из питающих фаз. Какая защита будет действовать?
3. Защита двигателей от КЗ выполнена с помощью отсечки, встроенной в реле РТ-80 с ограниченно-зависимой характеристикой, имеющей в независимой части выдержку времени, равную 4 с. Можно ли использовать это реле для защиты от перегрузки?
4. В схеме защиты от КЗ асинхронного двигателя напряжением 6 кВ и номинальным током 80 А предполагается использовать реле РТ-85 с усиленной контактной системой, позволяющей коммутировать токи до 150 А включительно. Схема выполняется в однорелейном исполнении с дешунтированием катушки отключения выключателя при срабатывании. Каким должен быть минимальный коэффициент



трансформации трансформаторов тока, если ток при 3х-фазном КЗ на выводах двигателя равен 3300 А?

### **3.5.3 Результаты и выводы:**

Ознакомиться со схемой и принципом действия токовых защит асинхронного двигателя; выбрать параметры защиты; провести проверку действия защит при повреждениях.

## **3.6 Практическое занятие №7,8( 4 часа).**

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

### **3.6.1 Задание для работы:**

1. Определение выводов, принадлежащие одной обмотке
2. Различия выводов, принадлежащие обмоткам ВН и НН.
3. Методика маркировки начал и концов обмоток.
4. Определение выводов обмоток, расположенных на одном стержне трансформатора.

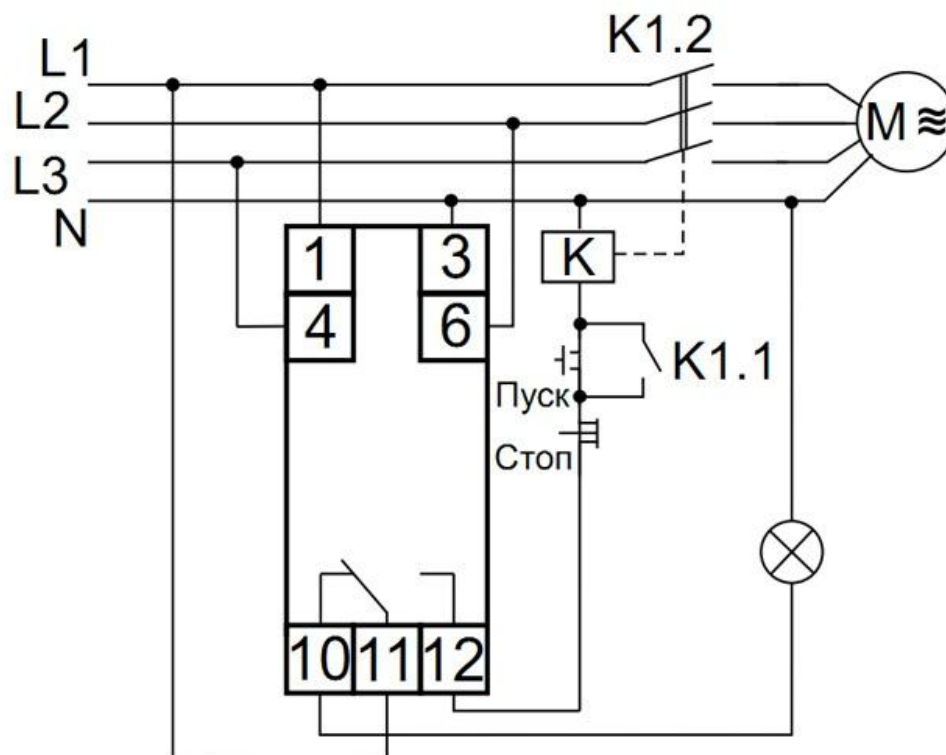
### **3.6.2 Краткое описание проводимого занятия:**

К ним относятся защиты от недопустимого падения питающего напряжения, асимметрии 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%  $U_n$  (СПЗ1 -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.



### 3.6.3 Результаты и выводы:

Ознакомиться со схемой и принципом действия защит асинхронного двигателя; выбрать параметры защиты; провести экспериментальную проверку действия защит.

## 3.7 Практическое занятие №9,10 (2 часа).

**Тема: «Изучение схемы реверсивного управления асинхронным электродвигателем с защитой от заклинивания ротора»**

### 3.7.1 Задание для работы:

Собрать схему управления электродвигателем и испытать её в лабораторных условиях.

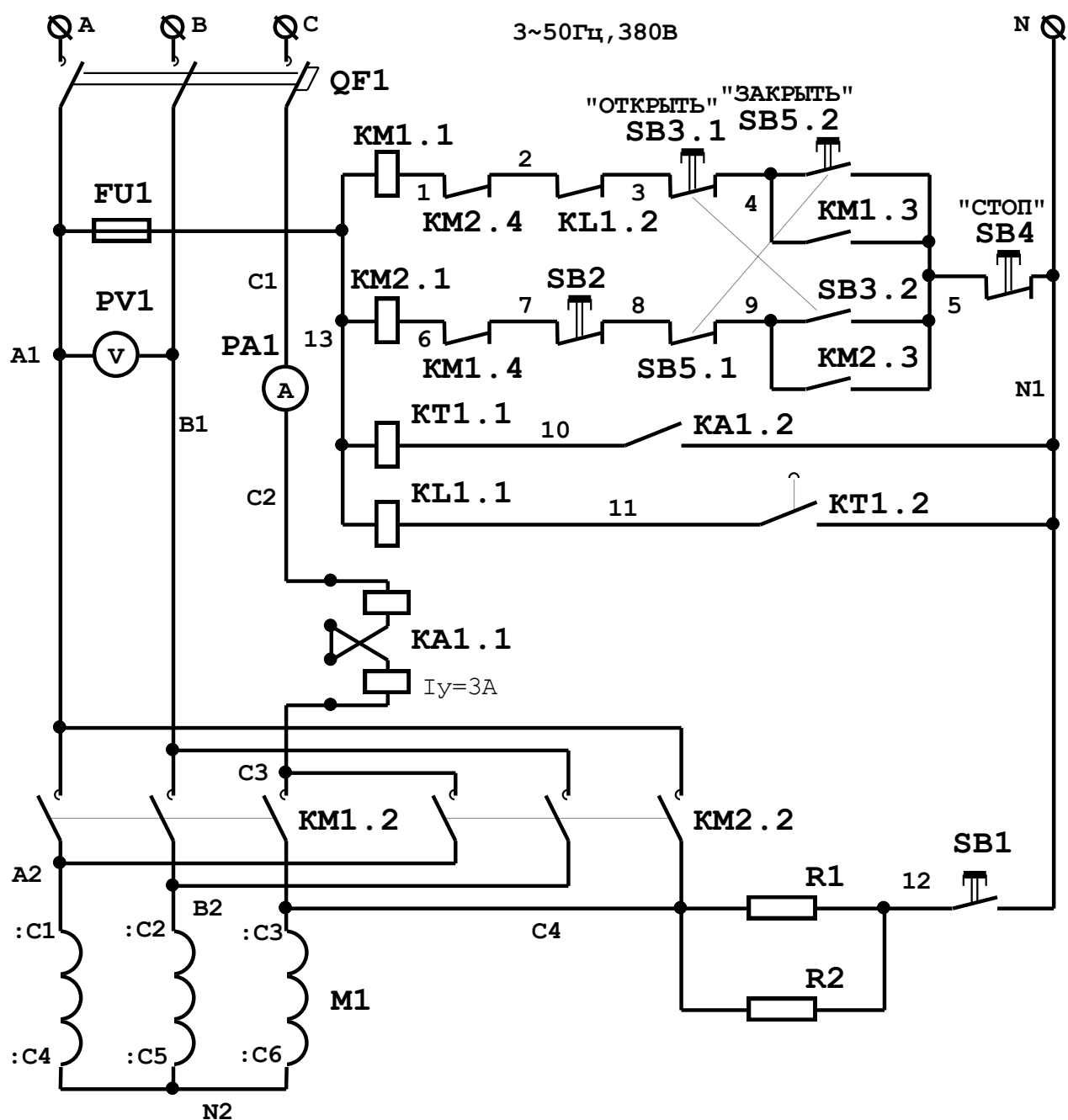
### 3.7.2 Краткое описание проводимого занятия:

#### Краткие теоретические положения

На практике часто используется схема реверсивного управления электродвигателями, осуществляющими через редуктор перемещение задвижек в системах нефте- водо- и газоснабжения производственных объектов. Запуск и остановка электродвигателя в прямом и обратном направлениях осуществляется по командам оператора, а отключение при достижении конечных положений задвижек автоматически с помощью конечных (путевых) выключателей.

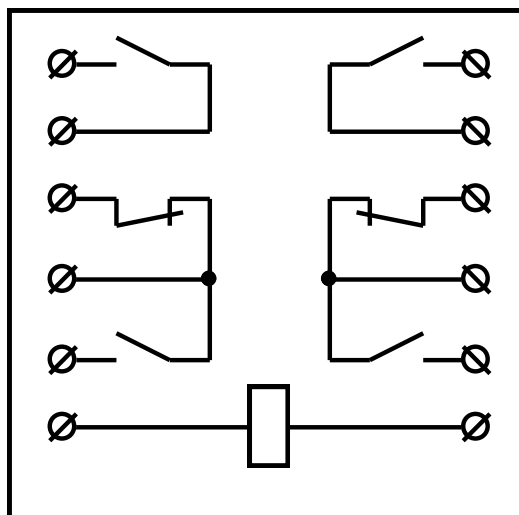
Особенностью привода задвижек является то, что отключение электродвигателя при работе на закрытие задвижки должно происходить при полном её закрытии, исключая просачивание жидкости. Использовать для цели автоматизации отключения обычный путевой выключатель, реагирующий на положение задвижки, в данном случае нельзя, так как технически невозможно установить переключатель так, чтобы он размыкался точно в тот момент, когда задвижка плотно закрыта. Если выключатель сработает несколько раньше, задвижка будет приоткрыта, а если раньше задвижка сработает на упор, то выключатель вообще не отключит электродвигатель и он сгорит. Поэтому для отключения электродвигателя в момент плотного закрытия задвижки

вместо конечного выключателя используют реле тока. Схема, реализующая данный принцип изображена на плакате и рисунке 1.



**Рис. 1: Принципиальная схема реверсивного управления асинхронным электродвигателем с использованием реле тока.**

*Расположение выводов элементов реле времени и реле тока приведено на табличках. Монтажная схема промежуточного реле изображена ниже.*



**Рис.2: Монтажная схема промежуточного реле.**

Работает схема следующим образом. При включении автоматического выключателя QF1 напряжение сети подаётся на вход силовых контактов KM1.2 и KM2.2 магнитных пускателей KM1 и KM2, а также через предохранитель FU1 на схему управления. Так как силовые контакты и контакты в цепи управления разомкнуты, ток ни в одной из цепей не протекает.

Допустим, что задвижка в начальный момент находится в промежуточном положении. Если по ходу протекания технологического процесса возникла необходимость увеличить пропускную способность задвижки, нажимается кнопка SB3 «открыть». При этом размыкаются контакты SB3.1 кнопки, отключая или предотвращая включение магнитного пускателя KM1, срабатывающего на закрытие задвижки, и замыкаются контакты SB3.2. Получает питание катушка KM2.1 магнитного пускателя KM2 по цепи: фаза А – FU1 – KM2.1 – KM1.4 – размыкающий контакт кнопки SB2, имитирующей конечный выключатель, срабатывающий при полном открытии задвижки, - SB5.1 – SB3.2 – размыкающий контакт кнопки SB4 – нейтральный провод сети. Срабатывает магнитный пускатель KM2, и своими силовыми контактами KM2.2 включает электродвигатель привода задвижки на открывание. Одновременно контакт KM2.3 пускателя блокирует контакт SB3.2 кнопки SB3, исключая отключение электродвигателя при отпускании кнопки, а контакт KM2.4 разомкнётся, предотвращая случайное включение пускателя KM1.

Отключение электродвигателя может произойти в трёх случаях: а) Если оператор сочтёт, что задвижка открыта достаточно, и нажмёт кнопку SB4. б) Если задвижка открылась полностью и разомкнётся контакт SB2. в) Если оператор решил, что задвижка открылась излишне, и нажмёт кнопку SB5. В этом случае разомкнутся контакты SB5.1 кнопки, прервётся цепь питания катушки KM2.1, электродвигатель M1 отключится, открывание задвижки прекратится. Одновременно с этим замкнутся контакты SB5.2. Катушка KM1.1 магнитного пускателя KM1 получит питание по цепи: фаза А сети – FU1 – KM1.1 – KM2.4 – KL1.2 – SB3.1 – SB5.2 - контакт кнопки SB4 – нейтраль сети. Магнитный пускатель KM1 сработает и своими силовыми контактами включит электродвигатель на закрытие задвижки. Одновременно заблокирует контакты SB5.2 кнопки контактами KM1.3 и разомкнёт контакты KM1.4 в цепи катушки KM2.1.

**Примечание.** При каждом включении электродвигателя под действием пускового тока срабатывает реле тока КА1, замыкая контакт КА1.2 в цепи питания катушки КТ1.1 реле времени КТ1. Реле времени начинает отсчитывать время задержки срабатывания контакта с выдержкой времени при замыкании КТ1.2, которое установлено несколько больше, чем время пуска электродвигателя. Поэтому к концу пуска реле тока размыкает

свой контакт КА1.2, обесточивает катушку КТ1.1 реле времени и замыкания контакта КТ1.2 не происходит.

Отключение электродвигателя с вращения на закрытие может произойти также в трёх случаях: а) Если оператор сочтёт, что задвижка прикрыта достаточно, и нажмёт кнопку SB4. б) Если оператор сочтёт, что задвижка прикрыта излишне, и нажмёт кнопку SB3. в) Если задвижка закрылась полностью (на упор). Тогда повысится ток электродвигателя до пускового. Сработает реле тока КА1. Замкнёт свой контакт КА1.2 в цепи питания катушки КТ1.1 реле времени КТ1. По истечении некоторого времени замкнётся контакт КТ1.2 с выдержкой времени на замыкание и включит катушку КЛ1.1 промежуточного реле КЛ1. Промежуточное реле, разомкнув свой размыкающий контакт КЛ1.2 в цепи питания катушки КМ1.1, отключит электродвигатель. При этом реле тока разомкнёт свой контакт, и последовательно отключатся катушки реле времени и промежуточного реле. Контакт КЛ1.2 замкнётся, но включение электродвигателя не произойдёт, так как успели разомкнуться контакты КМ1.3.

Предохранитель FU1 в цепи управления установлен для повышения чувствительности защиты от тока короткого замыкания в цепи управления, так как автоматический выключатель QF1, настроен на значительно больший ток короткого замыкания, который может возникнуть в силовой цепи. Рассмотренная схема может также использоваться для защиты электродвигателя от перегрузки и заклинивания ротора. Для этого ток срабатывания реле тока необходимо установить несколько больше рабочего тока электродвигателя

### **3.7.3 Результаты и выводы:**

Изучить схему реверсивного управления электродвигателем с помощью магнитного пускателя, устройство и принцип действия реле тока.

## **3.8 Практическое занятие №11,12( 4 часа).**

**Тема:** «Элементы и схемы систем защиты электроприводов на полупроводниковой основе»

### **3.8.1 Задание для работы:**

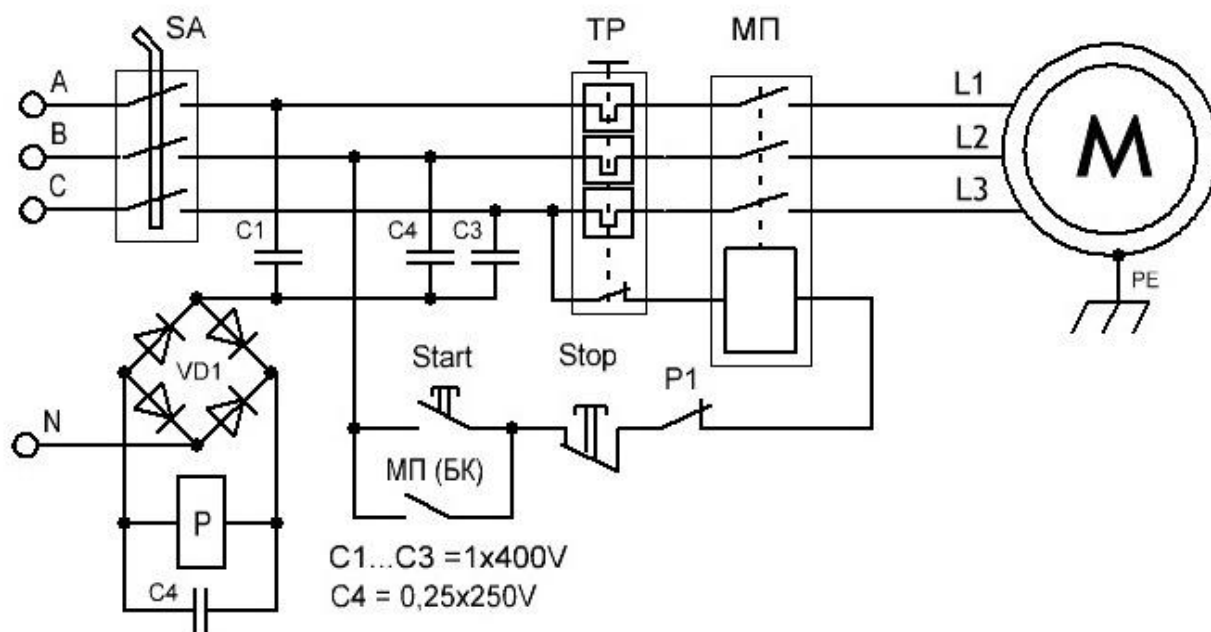
1. Изучить и понять принцип работы схемы защиты электропривода от обрыва фазы основанной на полупроводниковой основе

### **3.8.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Принцип работы устройства основан на том, что при обрыве одной фазы образуется напряжение смещения нейтрали, которое можно использовать для защиты двигателя.

Для реализации указанного способа создается искусственная нейтраль с помощью трех конденсаторов С1-С3. При наличии всех трех фаз электросети А, В и С напряжение между искусственной нейтралью и нулевым проводом N практически равно нулю, а при обрыве любой фазы возникает напряжение смещения.

Это напряжение выпрямляется с помощью диодного моста VD1, в диагональ которого включено электромагнитное реле Р. Конденсатор С4 блокирует срабатывание реле в пусковом режиме. Нормально замкнутые контакты Р1 при срабатывании реле размыкаются и разрывают цепь питания катушки магнитного пускателя МП, в результате электродвигатель М отключается от сети.



### 3.8.3 Результаты и выводы:

Ознакомились с методом защиты электропривода от обрыва фазы посредством смещения нейтрали

### 3.9 Практическое занятие №13,14 (4 часа).

Тема: «Защита на базе цифровой техники»

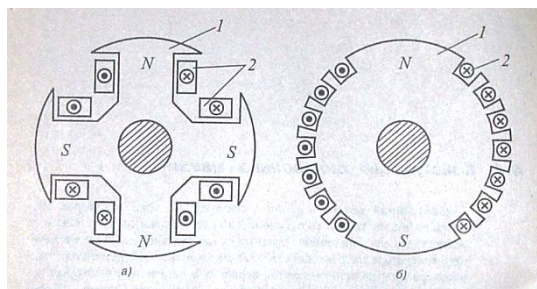
#### 3.9.1 Задание для работы:

1. Конструкция и принцип действия синхронного генератора
2. Оценка влияния характера нагрузки на характеристики генератора
3. Методика графо-аналитического исследования характеристик синхронного генератора.

#### 3.9.2 Краткое описание проводимого занятия:

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.

$$E_0 = 4,44 f_1 \omega_1 K_{o\partial 1} \Phi_0$$

#### 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 сбегавшем 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. – с 195...218*

Холостого хода  $E_0 = F(I_B)$ ;

Индукционную нагрузочную  $U = f(I_B)$ ;

Внешние  $U = f(I_H)$  при  $\cos \varphi = 1$  и  $\cos \varphi = 0,7$ ;

Регулировочные  $I = f(I_B)$  при  $\cos \varphi = 1$  и  $\cos \varphi = 0,7$ ;

3. Трёхфазного короткого замыкания  $I^{(3)}_{кз} = f(I_B)$ ;

G1	Синхронный генератор: тип ЕС52-4М101 с самовозбуждением $I_{в.ном}=4,3A$ , 1500 об/мин, 5 кВт, $I_{ф.ном}=9A$ ; $I_{л.ном}=15,7A$ ; $U_{ф.ном}=133 B$ ; $U_{л.ном}=230 B$ ; 106 кг (При $U_B=17,6B$ и $I_B=9A$ ; $U_{ф}=162 B$ )	1	
----	--	---	--





<i>в</i>				5					
<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 ,		0			0

				5					
	0/0/0/0	0		1 , 5		0			0

### 3.9.3 Результаты и выводы:

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

### 3.10 Практическое занятие №15,16( 4 часа).

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

#### 3.10.1 Задание для работы:

1. Исследовать холостой ход и короткое замыкание,

#### 3.10.2 Краткое описание проводимого занятия:

$R_1$  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:  $E'_2 = E_2 * K$ ,  $I'_2 = I_2 / K$ , 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:

$$I'_2 * E'_2 = I_2 / K * E_2 * K = I_2 * E_2.$$

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.*

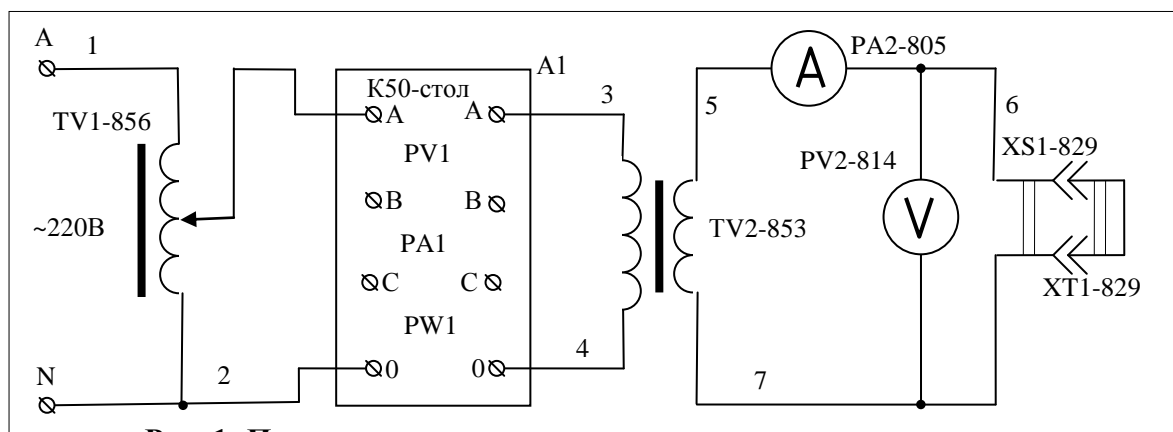


Рис. 1: Принципиальная схема установки для проведения опытов

Таблица 2

Результаты: $\Rightarrow$	опыта;				расчёта	
Исполнитель: $\downarrow$	$U_{10}, B$	$I_{10}, A$	$P_{10}, Bт$	$U_{20}, B$	$S_{10}, BA$	$\cos\varphi_{10}$
Сидоров	170					
Козлов	180					
И т. д.	190					
	205					
	$U_{10HOM} = 220$	$I_{10HOM} =$	$P_{10HOM} =$	$U_{20HOM} =$	$S_{10HOM} =$	$\cos\varphi_{10HOM}$
	240					
	$Z_m = \frac{U_{10HOM}}{I_{10HOM}} =$		$R_m = \frac{P_{10HOM}}{I_{10HOM}^2} =$		$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2} =$	

Таблица 2

Результаты:	опыта;				расчёта	
Исполнитель:	$I_{1K}, A$	$U_{1K}, B$	$P_{1K}, Bт$	$I_{2K}, A$	$S_{1K}, BA$	$\cos\varphi_{1K}$
Сидоров	1					
Козлов	1,5					
И т. д.	2					
	2,5					
	3					
	3,5					
	4					
	4,5					
	5					
	$R_K = R_1 + R'_2 = \frac{P_{1K.HOM}}{I_{1K.HOM}^2}$			$R_{K75} = R_K \frac{310}{235 + t} =$		
	$Z_K = Z_1 + Z'_2 = \frac{U_{1K.HOM}}{I_{1K.HOM}}$			$X_K = X_1 + X_2 = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} =$		
	$Z_{K75} = \sqrt{R_{K75}^2 + X_K^2} =$			$U_K \% = \frac{I_{1HOM} Z_{K75}}{U_{1HOM}} 100 =$		

	$u_{Ka} \% = \frac{I_{1HOM} R_{K75}}{U_{1HOM}} 100 =$	$u_{Kp} \% = \frac{I_{1HOM} X_K}{U_{1HOM}} 100 =$
--	---	---

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

Исполнитель	С-ов	Козлов	и т. д.			
$\beta$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_K}{\beta S_{HOM} \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_K}$						
$\Delta U \% = \beta (u_{Ka} \% \cos\varphi_2 + u_{Kp} \% \sin\varphi_2)$						
$U'_2 = U_{1HOM} (1 - \frac{\Delta U \%}{100})$						

**Определяем оптимальное значение  $\beta$  ( $\beta_{опт} = \sqrt{\frac{P_0}{P_K}}$ )**

### **3.10.3 Результаты и выводы:**

Научиться определять параметры схемы замещения трансформатора по результатам опытов холостого хода и короткого замыкания.