

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением по аграрному
техническому образованию в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений высшего образования по специальности
1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства
(по направлениям), направление специальности 1-74 06 05-01
Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика)*

Минск
БГАТУ
2018

УДК 621.313(07)
ББК 31.29я7
Э45

Составители:
старший преподаватель *Н. А. Равинский*,
старший преподаватель *В. Л. Петрович*

Рецензенты:
кафедра электроснабжения Белорусского национального
технического университета (заведующий кафедрой
кандидат технических наук, доцент *В. Б. Козловская*);
заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов
и электроники Белорусского государственного технологического
университета кандидат технических наук, доцент *Д. С. Карпович*

Э45 **Электрические** аппараты. Лабораторный практикум : учебно-
методическое пособие / сост.: Н. А. Равинский, В. Л. Петрович. –
Минск : БГАТУ, 2018. – 148 с.
ISBN 978-985-519-894-0.

Практикум содержит 12 лабораторных работ с материалами по экспериментальному исследованию электрических аппаратов напряжением до 1000 В. Изложены устройство и принципы работы основных электрических аппаратов, применяемых для управления и защиты низковольтного электрооборудования.

Для студентов учреждений высшего образования по специальности 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям), направление специальности 1-74 06 05-01 (электроэнергетика). Может быть использован учащимися средних специальных учебных заведений по специальности 2-74 06 31 Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства.

УДК 621.313(07)
ББК 31.29я7

ISBN 978-985-519-894-0

© БГАТУ, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа № 1. Изучение электрических аппаратов ручного управления	5
Лабораторная работа № 2. Исследование электромагнитных контакторов и промежуточных реле.....	15
Лабораторная работа № 3. Исследование однофазного тиристорного регулятора напряжения.....	24
Лабораторная работа № 4. Исследование трехфазного управляемого выпрямителя	32
Лабораторная работа № 5. Исследование преобразователя частоты	48
Лабораторная работа № 6. Исследование реле времени.....	71
Лабораторная работа № 7. Исследование аппаратов защиты электрических цепей от сверхтоков.....	79
Лабораторная работа № 8. Исследование аппаратов защиты электрических цепей от перенапряжений	87
Лабораторная работа № 9. Исследование устройств защитного отключения	101
Лабораторная работа № 10. Исследование электротеплового токового реле защиты электродвигателя	111
Лабораторная работа № 11. Исследование аппаратов температурной защиты электродвигателей	117
Лабораторная работа № 12. Исследование аппаратов комплексной защиты трехфазных асинхронных электродвигателей	134
Список литературы	146

ВВЕДЕНИЕ

К рабочим машинам в сельском хозяйстве предъявляются повышенные требования по надежности. Эти требования обусловлены экономическими ущербами, наносимыми производству низкой надежностью электрооборудования. Повысить надежность работы электрооборудования можно при хорошем знании конструкции применяемых электрических аппаратов и особенностей их применения и при грамотной эксплуатации.

Электрические аппараты широко применяются в сельскохозяйственном производстве и будут применяться в дальнейшем. Увеличение количества электрических аппаратов в сельском хозяйстве важно, но оно не обеспечивает качественного изменения сложившейся ситуации. Необходимо непрерывное совершенствование электрических аппаратов с применением новых материалов и физических явлений, использованием современной электронной базы и программных средств управления. Современные электрические аппараты в течение десятков лет не нуждаются в ремонте и сложной ревизии.

Лабораторный практикум содержит 12 лабораторных работ. Материал к каждой работе включает краткие теоретические сведения, порядок выполнения работы, рисунки, таблицы и контрольные вопросы.

Практикум подготовлен в соответствии с действующей программой дисциплины «Электрические аппараты».

Издание будет полезно не только студентам БГАТУ, но и студентам ССУЗов, обучающимся по соответствующим специальностям.

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Цель занятия: изучить конструкцию электрических аппаратов ручного управления.

Задачи занятия

1. Научиться разбирать и собирать электрические аппараты ручного управления.
2. Научиться определять техническое состояние отдельных элементов электрических аппаратов и их работоспособность в целом.
3. Научиться составлять диаграммы переключения контактов универсальных переключателей.

Теоретические сведения

Контактными коммутационными электрическими аппаратами ручного управления являются рубильники и переключатели, выключатели-разъединители, пакетные выключатели, кулачковые и универсальные переключатели, кнопки управления, контроллеры и командоконтроллеры.

Кнопки управления предназначены для подачи оператором управляющего воздействия при управлении различными электромагнитными аппаратами (реле, пускателями, контакторами), а также для коммутирования цепей управления сигнализацией, электрической блокировки и других цепей постоянного и переменного тока при напряжениях соответственно 440 и 660 В.

Кнопки управления различаются по величине (нормальные и малогабаритные), количеству замыкающих и размыкающих контактов, номинальному току и напряжению, форме и цвету толкателя.

По конструктивному исполнению различают кнопки управления: с самовозвратом в исходное положение; с защелками, фиксирующими положение после нажатия; с включением специальным ключом.

Два, три и более кнопочных элемента, смонтированные в одном корпусе, образуют кнопочную станцию или кнопочный пост. Выполняются для монтажа на пульте, стене (подвесные), полу (ножные).

Различают кнопки управления открытого исполнения (КЕ); переключатели открытого исполнения (ПЕ); кнопочные посты управления на 2, 3, 4 и более кнопочных элемента (ПКЕ).

Основной частью кнопок управления является кнопочный элемент (рис. 1.1), в пластмассовом корпусе 3 которого установлены неподвижные контакты 5. На стержне 8 закреплен контактный мостик 6, который поджат пружинами 7, обеспечивающими нажатие контактов. При свободном толкателе (кнопка не нажата) нижняя пружина прижимает контактный мостик к верхним неподвижным контактам, а если толкатель утоплен, то к нижним контактам. В исходное положение толкатель возвращает пружина 2, которая установлена между диском 4 и выточкой толкателя. Кнопка крепится к панели гайкой 9. Контакты кнопочных элементов посеребрены. Они рассчитаны на 40 000 циклов включений-отключений под нагрузкой.

Общий вид кнопок управления представлен на рис. 1.2, а их графическое и буквенно-цифровое обозначение – на рис. 1.3.

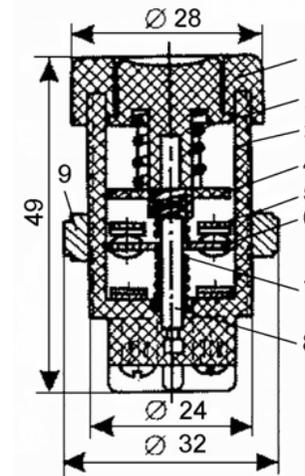


Рис. 1.1. Конструкция кнопки управления:

1 – толкатель; 2 – пружина; 3 – корпус; 4 – диск; 5 – неподвижные контакты;
6 – контактный мостик; 7 – пружина; 8 – стержень; 9 – гайка



Рис. 1.2. Общий вид кнопок управления

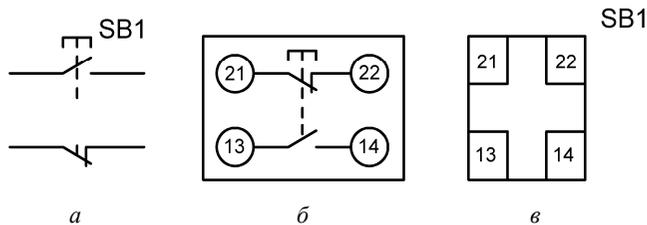


Рис. 1.3. Графическое и буквенно-цифровое обозначение кнопок управления:
 а – электрическая схема; б – электрическая схема – монтажный символ;
 в – монтажный символ упрощенный

Рубильник – простейший электрический коммутационный аппарат с ручным приводом и металлическими ножевыми контактами, входящими в неподвижные пружинящие контакты (гнезда), применяемый в электротехнических цепях для включения/отключения нагрузки с большой силой тока.

По количеству полюсов они подразделяются на одно-, двух- и трехполюсные; по роду управления бывают с центральной или боковой рукояткой либо рычажным приводом; по способу присоединения – с передней или задней стороны аппарата.

В некоторых конструкциях рубильник совмещают с предохранителями или используют предохранители в качестве ножей. Такая конструкция, позволяющая выполнять функции коммутации и защиты, называется блоком предохранитель-выключатель (БПВ).

Существует несколько типов рубильников и переключателей:

- Р (П) – рубильник (переключатель);
- РП (РБ) – рубильник (переключатель), рубильник с боковой рукояткой (рис. 1.4);

- РПБ (ППБ) – рубильник (переключатель) с боковым рычажным приводом;
- РПЦ (ППЦ) – рубильник (переключатель) с центральным рычажным приводом.

Коммутирующим элементом рубильников является подвижный нож 2 (рис. 1.5), который входит в губки контактных стоек 3. Переключатель отличается наличием дополнительных контактных стоек б с выводами 5, что обеспечивает переключение подходящих к нему электрических цепей с одной на другую.

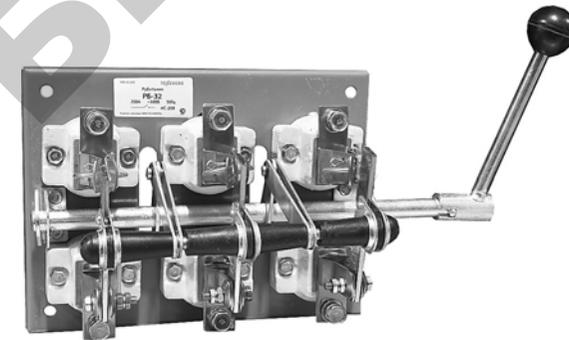


Рис. 1.4. Общий вид рубильника РБ с боковой рукояткой

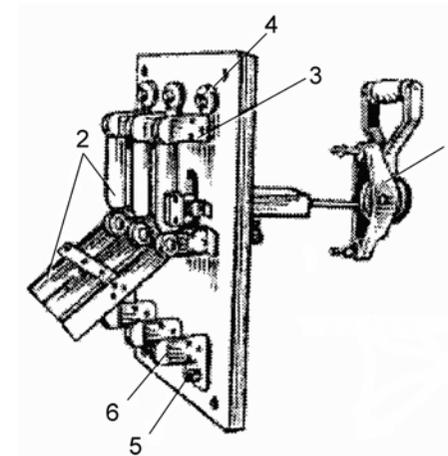


Рис. 1.5. Конструкция рубильника-переключателя РПЦ с центральным рычажным приводом: 1 – рычаг; 2 – подвижный контактный нож; 3, 6 – контактные стойки; 4, 5 – контактные выводы

Пакетные выключатели и переключатели применяются для коммутации в цепях управления и сигнализации, в схемах пуска и реверса ЭД небольшой мощности под нагрузкой, в цепях постоянного тока напряжением до 230 В и переменного тока напряжением 400 В. Представляют собой малогабаритные многоцепные аппараты поворотного типа. Выпускаются пакетные выключатели, рассчитанные на ток 4–400 А и 15–20 включений и имеющие одно-, двух и трехполюсную конструкцию в открытом, защищенном и герметичном исполнении (рис. 1.6).

Типы пакетных выключателей и переключателей имеют следующие буквенные обозначения: ПВ – пакетный выключатель; ПВМ – то же, малогабаритный; ГПВМ – герметичный малогабаритный. Следующие за буквами цифры обозначают количество полюсов и номинальный ток аппарата.

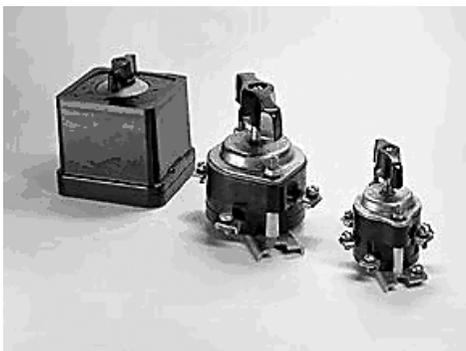


Рис. 1.6. Общий вид пакетных выключателей

Пакеты разных полюсов набираются на скобе 4 (рис. 1.7) со стяжными шпильками 3. На валике с рукояткой 1 зафиксированы подвижные контакты 7, имеющие профильное отверстие 5. Неподвижные контакты 8 находятся между изоляционными дисками 6. Контактные нажатия происходят под действием пружинящих подвижных контактов. Дуга, возникающая при замыкании и размыкании контактов, гасится в закрытой крышкой 2 камере, которая находится между пакетами, при наличии искрогасительных шайб.

Выключатель снабжен механизмом мгновенного переключения. Он представляет собой заводную пружину, которая обеспечивает высокую скорость размыкания контактов.

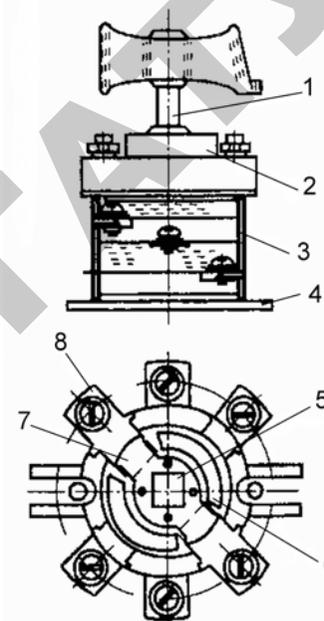


Рис. 1.7. Конструкция пакетного выключателя:

1 – рукоятка; 2 – крышка; 3 – стяжная шпилька; 4 – скоба; 5 – профильное отверстие; 6 – изоляционный диск; 7 – подвижный контакт; 8 – неподвижный контакт

Универсальные переключатели типа УП имеют два и более положения рукоятки, от 2 до 16 секций (8 исполнений), устанавливаются на щитах и пультах управления и служат для ручного переключения цепей управления напряжением до 440 В постоянного и до 500 В переменного тока.

Универсальные переключатели выпускаются в открытом (серия УП 5300), водо- (серия УП 5400) и взрывозащищенном (серия УП 5800) исполнении.

Основной частью переключателя УП 5300 являются стянутые шпильками рабочие секции (рис. 1.8). Через секции проходит валик, на одном конце которого находится пластмассовая рукоятка. Для закрепления переключателя на панели в его передней стенке сделаны три выступа с отверстиями под установочные винты. Коммутация электрических цепей осуществляется имеющимися контактами.



Рис. 1.8. Общий вид универсального переключателя

Каждая секция состоит из пластмассовой перегородки 2, контактной скобы 1 с двумя приваренными серебряными контактами, двух скоб 5, взаимодействующих с пальцами 6, зажимов 4 для подключения проводов и кулачковых шайб 3, насаженных на центральный валик (рис. 1.9). В каждой секции находится по три кулачковые шайбы, одна из которых предназначена для перемещения левого пальца, другая – для перемещения правого пальца, средняя – для разведения обоих пальцев.

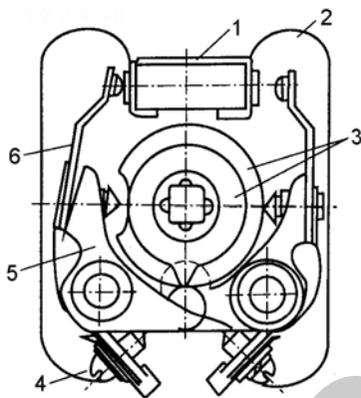


Рис. 1.9. Конструкция рабочей секции универсального переключателя УП:

1 – контактная скоба; 2 – пластмассовая перегородка;
3 – кулачковые шайбы; 4 – зажим; 5 – скоба; 6 – палец

Когда валик поворачивается в одну сторону, выступы рабочей поверхности крайней левой или правой шайбы нажимают на хвостовик

скобы 5 и соответствующий палец соприкасается с неподвижным контактом скобы 1. При этом шипы пальцев входят во впадины средней шайбы. Разведение пальцев происходит, когда выступ рабочей поверхности средней шайбы нажимает на шипы. Хвостовик скобы 5 в это время оказывается во впадине соответствующей левой или правой крайней шайбы. Фиксация переключателя осуществляется специальным устройством, которое находится на его передней стенке.

Методика выполнения лабораторной работы

1. Провести внешний осмотр выданного преподавателем аппарата ручного управления, определить его состояние. По внешним признакам определить исправность аппарата.
2. При помощи отвертки, гаечных ключей произвести разборку аппарата, одновременно определяя техническое состояние отдельных деталей.
3. Описать устройство и принцип действия аппарата, записать его буквенно-цифровое обозначение.
4. Сделать эскиз указанных преподавателем деталей аппарата.
5. Собрать аппарат.
6. Составить диаграмму замыкания контактов универсального переключателя серии 5300 по форме табл. 1.1. Варианты заданий указаны в табл. 1.2.

Таблица 1.1

Диаграмма замыкания контактов универсального переключателя серии 5300, имеющего четыре секции с тремя фиксированными положениями рукоятки (-45° – замкнуты контакты 3–4; 0° – замкнуты контакты 5–6, 7–8; $+45^\circ$ – замкнуты контакты 1–2)

Номер секции	Номер контакта		Положение рукоятки					
	Л	П	-45°		0°		$+45^\circ$	
			Л	П	Л	П	Л	П
I	1	2					*	*
II	3	4	*	*				
III	5	6			*	*		
IV	7	8			*	*		

Таблица 1.2

Варианты заданий для составления диаграммы переключений контактов универсального переключателя

Вариант	Переключатель	Вариант	Переключатель
1	-45°: 1-2; 7-8. 0°: 1-2; 3-4. +45°: 1-2; 5-6	2	-45°: 3-4; 7-8. 0°: 1-2; 3-4. +45°: 1-2; 5-6
3	-45°: 1-2; 3-4. 0°: 1-2; 3-4; 5-6; 7-8. +45°: 5-6; 7-8	4	-45°: 5-6; 7-8. 0°: 1-2; 3-4. +45°: 5-6; 7-8
5	-90°: 5; 7; 3-4. -45°: 3-4; 5. 0°: - . +45°: 3-4; 2. +90°: 2; 3-4; 7	6	-90°: 2; 3-4. -45°: 2; 3-4; 7-8. 0°: 2; 3-4; 6; 7-8. +45°: 3-4. +90°: -
7	-90°: 1-2; 3-4. -45°: 5-6; 7-8. 0°: - . +45°: 7-8; 5-6. +90°: 3-4; 1-2	8	-90°: 1-2; 3-4. -45°: 5-6. 0°: - . +45°: 7-8. +90°: 3-4; 1-2
9	-45°: 3-4. 0°: 5-6; 7-8. +45°: 1-2	10	-90°: 1-2. -45°: 3-4. 0°: - . +45°: 3-4. +90°: 1-2
11	-45°: 1-2. 0°: 5-6; 7-8. +45°: 3-4	12	-90°: 1-2. -45°: - . 0°: 3-4; 5-6; 7-8. +45°: - . +90°: 1-2
13	-45°: 1-2. 0°: 3-4; 7-8. +45°: 1-2; 5-6	14	-45°: 7-8. 0°: 1-2; 3-4. +45°: 1-2; 5-6

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Описание устройства и принципа действия выданного преподавателем аппарата, расшифровка его буквенно-цифрового обозначения.
3. Результаты определения технического состояния выданного преподавателем аппарата в целом, а также отдельных его деталей.
4. Эскизы указанных преподавателем деталей исследуемого аппарата.
5. Диаграмма замыкания контактов универсального переключателя.
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Из каких материалов изготавливаются контакты?
2. Какие существуют конструкции коммутирующих контактов?
3. Какую конструкцию имеют контакты кнопок управления, рубильников, пакетных выключателей и переключателей?
4. Как происходит гашение дуги в пакетном выключателе?
5. Вследствие каких явлений происходит износ контактов?
6. Укажите назначение кнопок управления, рубильников, пакетных выключателей и переключателей.
7. Из каких деталей состоит кнопка управления?
8. Из каких деталей состоит рубильник?
9. Из каких деталей состоит пакетный выключатель?

7. Сделать вывод о работоспособности исследуемых аппаратов.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОНТАКТОРОВ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЛЕ

Цель занятия: исследовать электромагнитные контакторы и промежуточные реле.

Задачи занятия

1. Изучить назначение, устройство, технические характеристики и параметры электромагнитных контакторов, магнитных пускателей и промежуточных реле.
2. Исследовать свойства контактора переменного тока ПМЛ-1100 с номинальным напряжением катушки 110 В, частотой 50 Гц.
3. Исследовать свойства контактора переменного тока ПМЛ-1100 с номинальным напряжением катушки 230 В, частотой 50 Гц.
4. Произвести расчет параметров испытанных электромагнитных контакторов.
5. Исследовать свойства промежуточных реле постоянного тока.

Теоретические сведения

Контакторы – это коммутационные аппараты, предназначенные для частых включений и отключений электрических цепей при нормальных режимах работы. Контакторы применяются в цепях напряжения до 500 В переменного тока и 600 В постоянного тока.

Контакторы подразделяют на:

- а) электромагнитные, которые срабатывают при помощи электромагнита;
- б) постоянного тока – линейные контакторы и контакторы ускорения;
- в) переменного тока промышленной частоты;
- г) переменного тока повышенной частоты (до 10 кГц).

Контакторы, служащие для замыкания или размыкания электрических цепей, называют линейными, а контакторы, служащие для закорачивания отдельных ступеней пускового реостата, – контакторами ускорения.

Основные узлы любого электромагнитного контактора:

- электромагнитный механизм;
- главные контакты;
- дугогасительное устройство;
- блок-контакты.

Принцип действия контакторов заключается в следующем. При подаче напряжения на обмотку электромагнита якорь притягивается к сердечнику. Подвижный контакт, связанный с якорем, замыкает или размыкает главную цепь. Дугогасительная система обеспечивает быстрое гашение дуги. Вспомогательный блок-контакт используется для согласования работы контактора с другими аппаратами.

Тяговая характеристика электромагнита переменного тока близко подходит к противодействующей характеристике, поэтому контакторы переменного тока обладают высоким коэффициентом возврата (0,6...0,7), что дает возможность осуществить защиту объекта от падения напряжения.

Промышленностью выпускаются следующие основные серии контакторов переменного тока:

- а) контакторы серии КТ на номинальные токи 75, 150, 300 и 600 А и номинальные напряжения 400 и 500 В.
- б) контакторы серии КИ, предназначенные в основном для установки в магнитных пускателях на токи 60, 100 и 150 А и напряжение 400 В.

Контакторы выполняют свои функции удовлетворительно, если напряжение на зажимах катушки

$$U = (0,85 \dots 1,1) U_{\text{ном}}, \quad (2.1)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение контактора, В.

Снижение напряжения ниже $0,85 U_{\text{ном}}$ уменьшает силу, удерживающую якорь, в результате чего при некотором напряжении отпадания $U_{\text{отп}}$ происходит отрыв якоря от полюсов. Наименьшее напряжение $U_{\text{ср}}$, при котором происходит включение контактора, называют напряжением срабатывания.

Отношение $K = U_{\text{отп}} / U_{\text{ср}}$ называют *коэффициентом возврата*.

Механической характеристикой контактора называют зависимость механических противодействующих сил от величины рабочего зазора $F_{\text{мех}} = f(\delta)$. Противодействующие силы в электромагнитных контакторах создаются с помощью пружин.

Магнитный пускатель – это контактор переменного тока, предназначенный для дистанционного управления и защиты от понижения напряжения питающей сети, защиты от токов перегрузки асинхронных двигателей малой и средней мощности.

Основным узлом магнитного пускателя, как и контактора, является электромагнит переменного тока, приводящий в действие систему с контактами.

Обычно в магнитных пускателях применяют трехполюсный контактор переменного тока, имеющий три главных замыкающих контакта и от одного до четырех вспомогательных, блокировочных, или блок-контактов.

В кожух магнитного пускателя, кроме контактора, часто встраивается тепловое реле, выполняющее токовую защиту с выдержкой времени, зависящей от величины тока.

Выбор магнитного пускателя и контакторов производится:

а) по номинальному напряжению сети:

$$U_{\text{ном}} = U_{\text{сети}}, \quad (2.2)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение катушки магнитного пускателя;

б) по номинальному току нагрузки:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ном. нагр}}, \quad (2.3)$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток магнитного пускателя, контактора для конкретного режима работы;

в) по мощности двигателя исполнительного механизма;

г) по режиму работы;

д) по числу включений в час;

е) по номинальному напряжению контактов аппарата:

$$U_{\text{ном. конт}} \geq U_{\text{сети}}; \quad (2.4)$$

ж) по времени включения и отключения.

Промежуточные реле служат вспомогательными устройствами и применяются, когда необходимо:

а) замкнуть или разомкнуть одновременно несколько независимых цепей, т. е. размножить контакты (например, одним контактом произвести обесточивание катушки электромагнитного контактора, а другим – подать в схему сигнализации аварийный сигнал);

б) управлять более мощным реле, которое коммутирует цепи с большими токами (например, промежуточное реле своими контактами подает питание на катушку более мощного контактора, который своими контактами коммутирует большие токи);

в) создать искусственное замедление действия релейной защиты.

Промежуточные универсальные реле (РПУ) предназначены для работы в электрических цепях управления и промышленной автоматики переменного тока напряжением до 415 В, частоты 50 Гц и постоянного тока напряжением до 220 В. Номинальный ток контактов – 6 А, количество контактных групп – от 2 до 8.

Малогабаритные реле управления широко применяются в различных устройствах промышленной автоматики, в низковольтных комплексных устройствах различного направления, в торговом и медицинском оборудовании, в оргтехнике и энергетике.

Реле РП-21 изготавливаются одно-, двух-, трех- и четырехконтактными с четырьмя типами розеток и переключающими, замыкающими, размыкающими типами коммутирующих контактов. Номинальное напряжение катушки на постоянном токе составляет 6...230 В, на переменном токе – 12...240 В. Номинальный ток контактов – 6 А.

Реле РП-63 имеет следующие основные технические параметры: номинальные напряжения включающей катушки на постоянном токе – 12...110 В, на переменном токе – 12...230 В. Номинальный ток контактов составляет 10 А. Количество переключающих контактов – 3 или 4. Номинальное напряжение цепей контактов на постоянном токе – 12...220 В, на переменном токе – 12...230 В.

Методика выполнения лабораторной работы

1. На основании общих сведений, изложенных в лабораторной работе, изучить назначение, устройство, технические характеристики и параметры электромагнитных контакторов, магнитных пускателей и промежуточных реле.

2. Исследовать свойства контактора переменного тока ПМЛ-1100 с номинальным напряжением катушки 110 В, частотой 50 Гц.

2.1. Собрать электрическую схему согласно рис. 2.1.

2.2. Включить стенд, включить источник питания 24 В. Подать напряжение на лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) переключателем SA3.

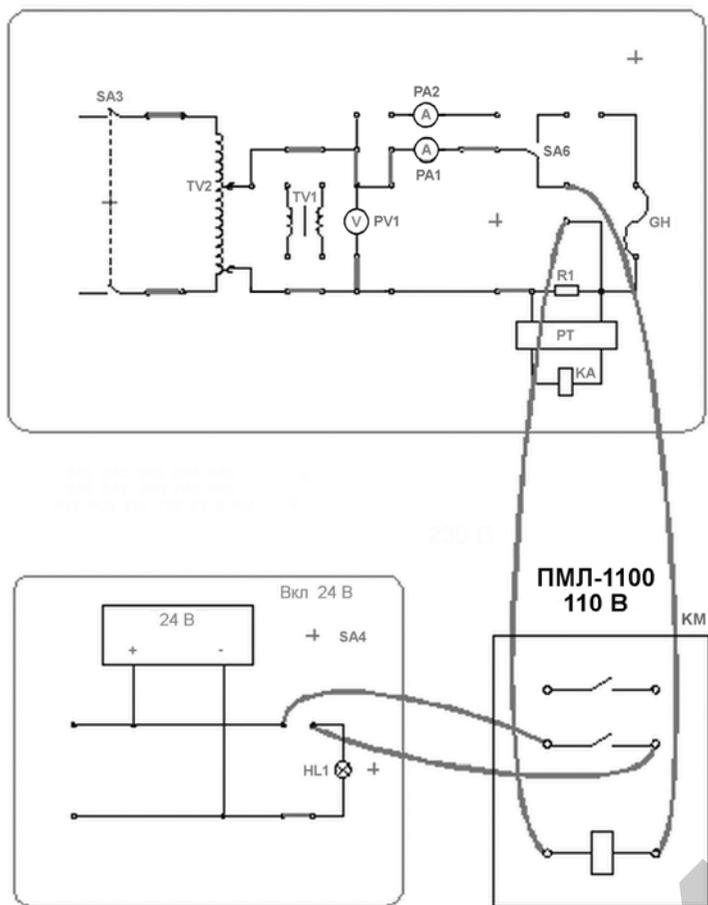


Рис. 2.1. Схема испытания контактора переменного тока ПМЛ-1100 с номинальным напряжением катушки 110 В

2.3. При помощи ЛАТРа постепенно увеличивать величину напряжения, подаваемого на катушку контактора КМ, контролировать показания приборов РА1 и РV1.

2.4. В момент, когда якорь втянется в катушку, зафиксировать показания РА1 и РV1, при этом загорится светосигнальный индикатор НЛ1. Полученные значения занести в табл. 2.1.

2.5. При помощи ЛАТРа увеличить напряжение на катушке контактора КМ до номинальной величины 110 В, снять показания РА1 и РV1 и занести их в табл. 2.1.

2.6. Уменьшать напряжение на катушке контактора КМ до момента отпускания якоря.

2.7. В момент отпускания якоря катушки зафиксировать показания РА1 и РV1 и занести полученные значения в табл. 2.1.

2.8. Повторить п. 2.3–2.7 несколько раз. Во избежание перегрева катушки контактора не допускать длительной работы катушки с невтянутым якорем, а также делать паузу между опытами.

Таблица 2.1

Результаты испытания контактора ПМЛ-1100 с номинальным напряжением катушки 110 В

Измеряемая величина	№ опыта			Среднее значение
	1	2	3	
Напряжение срабатывания $U_{ср}$, В				
Ток при невтянутом якоря $I_{ср}$, А, в опыте на включение				
Ток при втянутом якоря $I_{ном}$, А, при номинальном напряжении 110 В				
Напряжение возврата $U_{в}$, В				

3. Исследовать свойства контактора переменного тока ПМЛ-1100 с номинальным напряжением катушки 230 В, частотой 50 Гц.

Собрать электрическую схему согласно рис. 2.2. Дальнейшие измерения проводятся аналогично п. 2.2–2.8 для катушки с напряжением 230 В, показания заносятся в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты испытания контактора ПМЛ-1100 с номинальным напряжением катушки 230 В

Измеряемая величина	№ опыта			Среднее значение
	1	2	3	
Напряжение срабатывания $U_{ср}$, В				
Ток при невтянутом якоря $I_{ср}$, А, в опыте на включение				
Ток при втянутом якоря $I_{ном}$, А, при номинальном напряжении 230 В				
Напряжение возврата $U_{в}$, В				

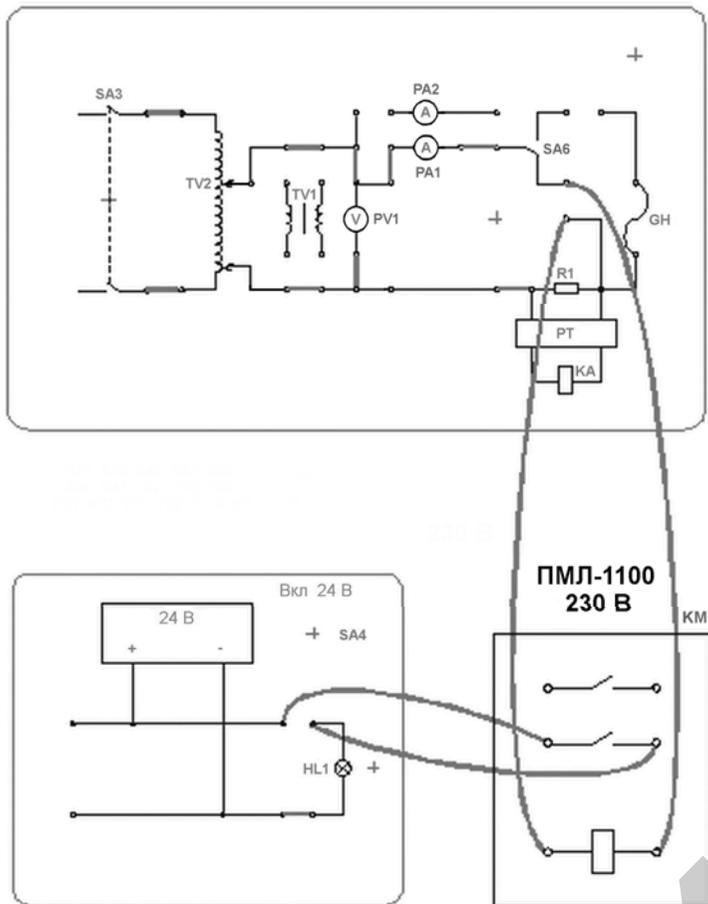


Рис. 2.2. Схема испытания контактора переменного тока ПМЛ-1100 с номинальным напряжением катушки 230 В

4. Произвести расчет параметров контакторов по следующим формулам:

– коэффициент возврата

$$K_v = U_v / U_{cp}; \quad (2.5)$$

– кратность пускового тока к номинальному

$$K = I_{cp} / I_{ном}; \quad (2.6)$$

– номинальная активная мощность, Вт:

$$P_{ном} = I_{ном} R, \quad (2.7)$$

где R – активное сопротивление катушки контактора, для ПМЛ-1100 с $U_n = 110$ В $R = 136$ Ом; для ПМЛ-1100 с $U_n = 230$ В $R = 518$ Ом;

– номинальная полная мощность катушки, В·А:

$$S_{ном} = I_{ном} U_{ном}. \quad (2.8)$$

5. Исследование свойств промежуточного реле постоянного тока РП-21 с номинальным напряжением катушки 24 В.

5.1. Собрать электрическую схему согласно рис. 2.3.

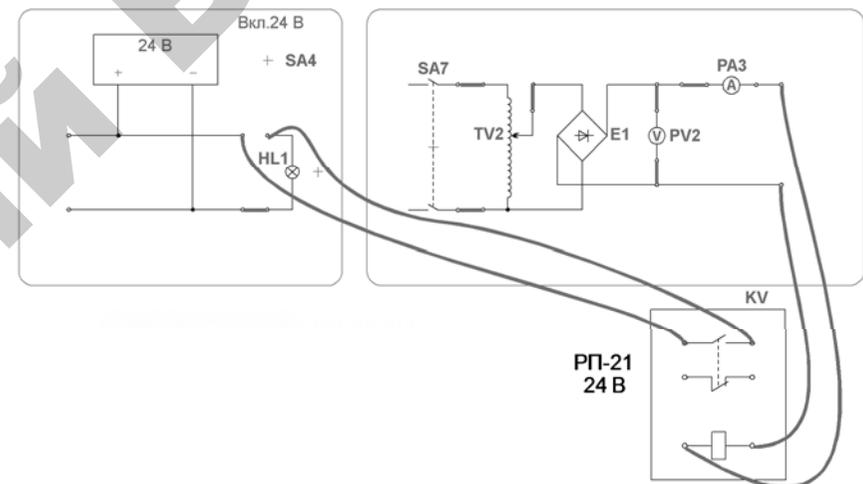


Рис. 2.3. Схема испытания промежуточного реле постоянного тока

5.2. Включить стенд, включить источник питания 24 В. Подать напряжение на ЛАТР переключателем SA3.

5.3. При помощи ЛАТРа постепенно увеличивать величину подаваемого напряжения на катушку промежуточного реле KV, контролировать показания приборов PA2 и PV2.

5.4. В момент, когда якорь втянется в катушку, зафиксировать показания PA2 и PV2, при этом загорится светосигнальный индикатор HL1. Полученные значения занести в табл. 2.3.

5.5. При помощи ЛАТРа увеличить напряжение на катушке промежуточного реле KV до номинальной величины 24 В, снять показания PA2 и PV2 и занести их в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты испытания промежуточного реле постоянного тока РП-21
с номинальным напряжением катушки 24 В

Измеряемая величина	№ опыта			Среднее значение
	1	2	3	
Напряжение срабатывания $U_{ср2}$, В				
Ток при невтянутом якоре $I_{ср}$, А, в опыте на включение				
Ток при втянутом якоре $I_{ном}$, А, при номинальном напряжении 24 В				
Напряжение возврата $U_{в}$, В				

5.6. Уменьшать напряжение на катушке промежуточного реле KV до момента отпускания якоря.

5.7. В момент отпускания якоря катушки зафиксировать показания РА2 и PV2 и занести полученные значения в табл. 2.3.

5.8. Повторить п. 5.3–5.7 несколько раз. Во избежание перегрева катушки реле не допускать длительной работы катушки с невтянутым якорем, а также делать паузу между опытами.

6. На основании проведенных исследований сделать вывод о проделанной работе.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схемы испытания контакторов переменного тока и промежуточного реле.
3. Табл. 2.1–2.3 с результатами опытов и расчетными данными.
4. Формулы, используемые при расчетах.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение контакторов и магнитных пускателей?
2. Какова конструкция контакторов и магнитных пускателей?
3. Каково назначение теплового реле в магнитном пускателе?
4. Поясните назначение и устройство промежуточных реле.
5. Что понимается под термином «коэффициент возврата» электромагнитных контакторов и реле?
6. Приведите условия выбора электромагнитных контакторов и пускателей.
7. Нарисуйте схему управления пуском асинхронного двигателя с помощью магнитного пускателя.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПЯЖЕНИЯ

Цель занятия: исследовать однофазный тиристорный регулятор напряжения.

Задачи занятия

1. Изучить принципы построения и работы тиристорных регуляторов напряжения.
2. Ознакомиться со схемой лабораторного стенда тиристорного регулятора напряжения.
3. Снять осциллограммы напряжений на выходе основных блоков регулятора.
4. Построить регулировочную и нагрузочную характеристики тиристорного регулятора напряжения.

Теоретические сведения

Силовая часть схемы однофазного тиристорного регулятора напряжения представляет собой тиристорную пару, в которой тиристоры VS1 и VS2 включены встречно-параллельно (рис. 3.1).

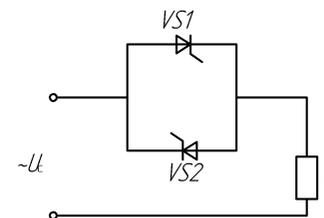


Рис. 3.1. Силовая часть схемы однофазного тиристорного регулятора напряжения

В тиристорных регуляторах напряжения и управляемых выпрямителях используется *фазовый метод* управления тиристорами. Он основан на свойстве тиристора переходить во включенное состояние в момент подачи на управляющий электрод тиристора управляющих импульсов. Задержка подачи таких импульсов определяется фазовым углом α (углом управления). Он характеризует

задержку во времени (выдержанную в электрических градусах) момента подачи импульса управления по отношению к моменту естественного отпирания вентилей.

Графики выходного напряжения и тока активной нагрузки при $\alpha \neq 0^\circ$ показаны на рис. 3.2. При $\alpha = 180^\circ$ тиристоры практически закрыты и на нагрузке нет напряжения, а при $\alpha = 0^\circ$ – полностью открыты и напряжение на нагрузке имеет вид полных полувольт и соответствует максимальному значению, получаемому от регулятора.

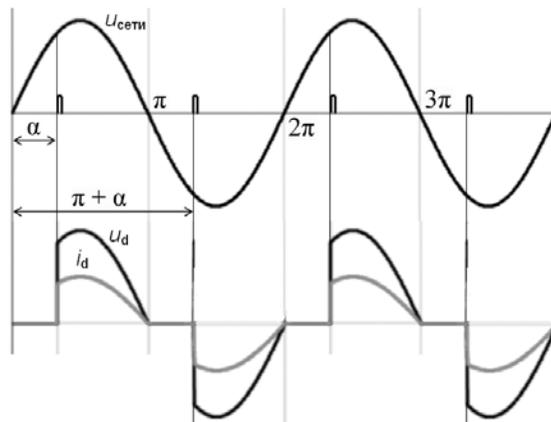


Рис. 3.2. Графики выходного напряжения и тока активной нагрузки однофазного тиристорного регулятора напряжения

Для изменения угла α широко применяются системы импульсно-фазового управления тиристорами (СИФУ).

Существует большое количество разновидностей СИФУ. Основные признаки, по которым производится классификация СИФУ, следующие:

- по способу отсчета угла α различают одноканальные и многоканальные СИФУ. В одноканальной СИФУ отсчет углов открытия отдельных тиристоров осуществляется в одном общем канале, а в многоканальной СИФУ – в индивидуальном канале для каждого тиристора;

- по типу синхронизации различают синхронные и асинхронные СИФУ. В синхронных СИФУ момент включения тиристора определяется путем отсчета временного интервала от момента перехода синусоиды питающего напряжения через нуль, в асинхронных – от момента предыдущего включения тиристора;

- по виду развортываемого сигнала СИФУ подразделяются на СИФУ вертикального и интегрирующего действия. В СИФУ вертикального действия развортывается опорный сигнал, а в СИФУ интегрирующего – управляющий сигнал.

В качестве примера рассмотрим одноканальную синхронную СИФУ вертикального действия. Структурная схема такой СИФУ показана на рис. 3.3. Временные диаграммы напряжений СИФУ приведены на рис. 3.4.

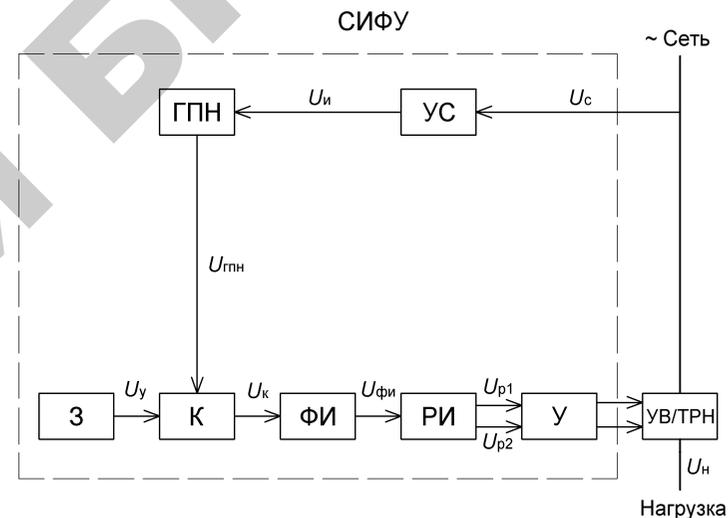


Рис. 3.3. Структурная схема СИФУ:

УВ/ТРН – управляемый выпрямитель/тиристорный регулятор напряжения; УС – устройство синхронизации; ГПН – генератор пилообразного напряжения; З – задатчик; К – компаратор (система сравнения); ФИ – формирователь импульсов; РИ – распределитель импульсов; У – усилитель

На диаграмме 1 представлена синусоида питающего напряжения. В момент перехода синусоиды через нуль устройство синхронизации УС формирует опорные сигналы (диаграмма 2), относительно которых сдвигается фаза импульсов управления. Генератор пилообразного напряжения ГПН в соответствии с синхронизирующими импульсами формирует напряжение пилообразной формы $U_{гпн}$ (диаграмма 3). На диаграмме 3 также показано постоянное управляющее напряжение U_y задатчика З. Компаратор К производит

сравнение напряжений $U_{гнн}$ и U_y и в момент их равенства воспроизводит импульс (диаграмма 4). Формирователь импульсов ФИ формирует импульсы управления определенной длительности (диаграмма 5), которые затем распределителем импульсов РИ через усилитель импульсов У распределяются на соответствующие управляющие электроды тиристорного регулятора напряжения ТРН. На диаграмме 6 показаны импульсы, поступающие на тиристоры, работающие по положительной полуволне питающего напряжения, а на диаграмме 7 – импульсы, поступающие на тиристоры, работающие по отрицательной полуволне. Диаграмма 8 иллюстрирует форму напряжения на нагрузке U_n .

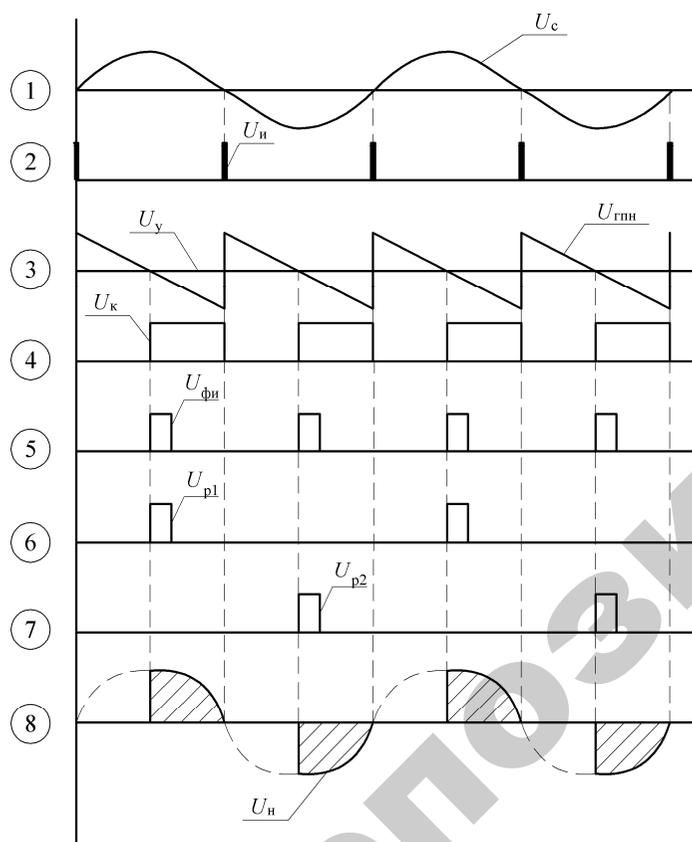


Рис. 3.4. Временные диаграммы напряжений СИФУ

На базе однофазных тиристорных регуляторов напряжения могут быть построены трехфазные тиристорные регуляторы напряжения. Такие регуляторы содержат три пары встречно включенных тиристоров (по паре в каждую фазу), блок СИФУ и нагрузку, подключенную либо по схеме «звезда», либо по схеме «треугольник».

Методика выполнения лабораторной работы

1. На основании общих сведений изучить принципы построения и работы тиристорных регуляторов напряжения.
2. Ознакомиться со схемой лабораторного стенда тиристорного регулятора напряжения (рис. 3.5).

Силовая часть схемы представляет собой тиристорную пару, в которой тиристоры VS1 и VS2 включены встречно. Управление величиной напряжения на нагрузке (вольтметр V1), а следовательно, и током нагрузки (амперметр A1) достигается управлением угла отпирания тиристоров.

Управление углом отпирания тиристоров осуществляется схемой управления, формирующей синхронизированные с сетевым напряжением импульсы управления. Импульсы передаются на управляющие электроды тиристоров через импульсные трансформаторы, позволяющие произвести гальваническую развязку силовых цепей преобразователя и цепей управления.

Синхронизация импульсов управления с сетевым напряжением достигается путем формирования в блоке ГПИ импульсов пилообразной формы из пониженного синусоидального напряжения. Импульсы пилообразной формы поступают в блок сравнения СС, равно как и напряжение задания, снимаемое с потенциометра R4. В результате сравнения этих величин блок СС формирует прямоугольные импульсы, скважность которых зависит от положения движка потенциометра R4. Прямоугольные импульсы управляют углом отпирания тиристоров, преобразуясь в блоке БФИ для передачи через обмотки импульсного трансформатора ТЗ.

3. Снять осциллограммы напряжений на выходе основных блоков регулятора.

3.1. Включить стенд сетевым выключателем SA1.

3.2. Подать напряжение на блок тиристорного регулятора напряжения тумблером SA2.

3.3. Изменяя положение потенциометра R4, снять осциллограммы сигналов на выходе блоков ГОИ, СС, БФИ и на нагрузке, в том числе при минимальном и максимальном напряжении (точки подключения осциллографа показаны на рис. 3.5, подключение осциллографа к нагрузке следует производить через делитель напряжения). Напряжение на движке R4 измерять тестером либо осциллографом.

3.4. По окончании опытов отключить стенд тумблером SA2 и сетевым выключателем SA1.

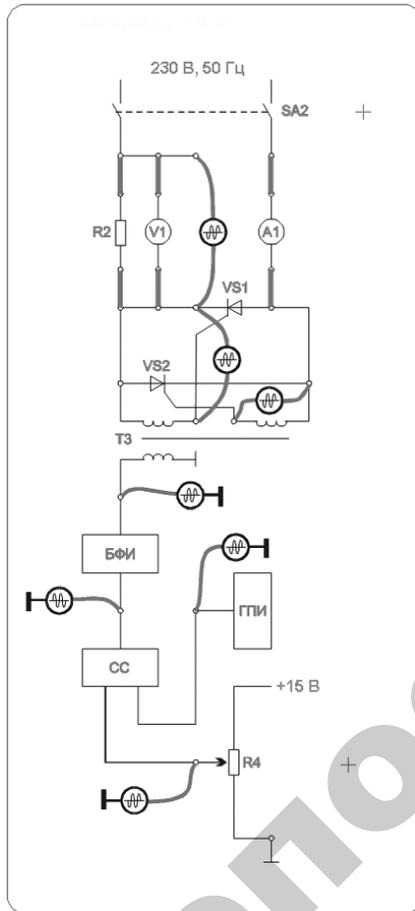


Рис. 3.5. Схема однофазного тиристорного регулятора напряжения

3.5. По осциллограммам определить соответствующие углы отпирания тиристорov.

4. Построить регулировочную и нагрузочную характеристики тиристорного регулятора напряжения.

4.1. Включить стенд сетевым выключателем SA1.

4.2. Подать напряжение на блок тиристорного регулятора напряжения тумблером SA2.

4.3. Изменяя положение потенциометра R4, зафиксировать значения напряжения задания U_3 при помощи тестера, напряжения на нагрузке U_n при помощи вольтметра V1, а также тока нагрузки I_n при помощи амперметра A1. Полученные значения занести в таблицу.

4.4. По окончании опыта отключить стенд тумблером SA2 и сетевым выключателем SA1.

4.5. По полученным данным построить регулировочную характеристику тиристорного регулятора напряжения $U_n = f(U_3)$, а также нагрузочную характеристику $U_n = f(I_n)$.

Таблица

Результаты исследования тиристорного регулятора напряжения

Измеряемая величина	№ опыта					
	1	2	3	4	5	6
Напряжение задания U_3 , В						
Напряжение на нагрузке U_n , В						
Ток нагрузки I_n , А						

5. На основании изученного теоретического материала и по результатам проделанных опытов сделать выводы о влиянии угла открытия тиристорov на величину среднего напряжения на нагрузке.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема лабораторной установки.
4. Осциллограммы сигналов на выходе блоков ГОИ, СС, БФИ и на нагрузке.
5. Таблица с опытными данными.

6. Регулировочная характеристика тиристорного регулятора напряжения $U_n = f(U_3)$.

7. Нагрузочная (внешняя) характеристика $U_n = f(I_n)$.

Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия тиристорного регулятора напряжения?
2. Каков принцип действия системы управления тиристорным регулятором напряжения?
3. С какой целью применяется гальваническая развязка силовых и управляющих цепей?
4. Для чего необходима синхронизация управляющих импульсов с сетевым напряжением?

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Цель занятия: исследовать трехфазный управляемый выпрямитель.

Задачи занятия

1. Изучить принципы построения и работы трехфазных управляемых выпрямителей.
2. Изучить описание универсального лабораторного стенда исследования трехфазного управляемого выпрямителя.
3. Исследовать работу трехфазного управляемого выпрямителя на активную нагрузку.
4. Исследовать работу трехфазного управляемого выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку.
5. Исследовать работу трехфазного управляемого выпрямителя на двигательную нагрузку.
6. Построить регулировочные характеристики $U_n = f(\alpha)$ трехфазного управляемого выпрямителя при его работе на активную, активно-индуктивную и двигательную нагрузку.
7. Сделать выводы о проделанной работе.

Теоретические сведения

Выпрямителем называется статический преобразователь электрической энергии переменного тока в постоянный ток.

По числу фаз питающей сети переменного тока выпрямители бывают **однофазные** и **трехфазные**.

Для согласования трехфазного выпрямителя с сетью обычно применяют силовые трансформаторы.

Существует большое число различных схем трехфазных управляемых выпрямителей. По принципу действия и построения они могут быть разделены на две группы: *однополупериодные* (схемы с нулевым проводом), в которых используют только одну полуволну напряжения сети, и *двухполупериодные* (мостовые схемы), где использованы обе полуволны переменного напряжения сети.

Процесс выпрямления осуществляется непосредственно полупроводниковыми элементами (тиристорами) схемы выпрямления. Рассмотрим сущность процесса выпрямления в трехфазной двухполупериодной схеме, именуемой мостовой двухтактной (рис. 4.1).

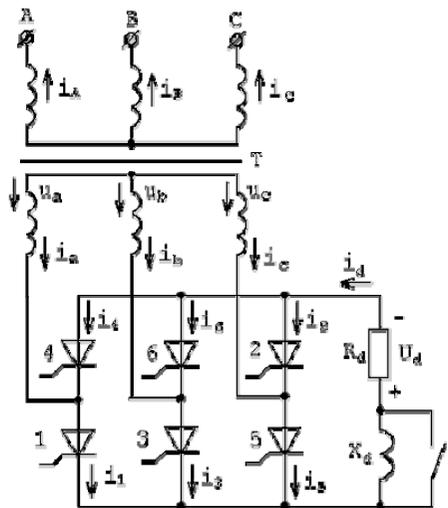


Рис. 4.1. Схема трехфазного мостового управляемого выпрямителя

Подключение тиристоров (1–6), собранных в мостовую схему, к трехфазной питающей сети переменного тока осуществляется через силовой согласующий трансформатор Т. Тиристоры 1, 3, 5 образуют катодную, а тиристоры 2, 4, 6 – анодную группы (рис. 4.1). Из катодной группы ток пропускает тот тиристор, к аноду которого подводится большее положительное напряжение. На выход выпрямителя включена активно-индуктивная нагрузка (сопротивление R_d и индуктивность X_d).

Замечание. Следует отметить, что нумерация тиристоров в данной схеме не носит случайный характер, а соответствует порядку их вступления в работу при условии соблюдения фазировки трансформатора.

На рис. 4.2 приведены диаграммы напряжений и токов, поясняющие сущность процесса выпрямления в трехфазном управляемом выпрямителе, собранном по мостовой схеме.

В любой промежуток времени должны быть включены два тиристора – один из катодной, другой из анодной группы. Поочередная

работа различных пар тиристоров в схеме приводит к появлению на сопротивлении R_d выпрямленного напряжения, состоящего из частей линейных напряжений вторичных обмоток трансформатора (ось 2 на рис. 4.2).

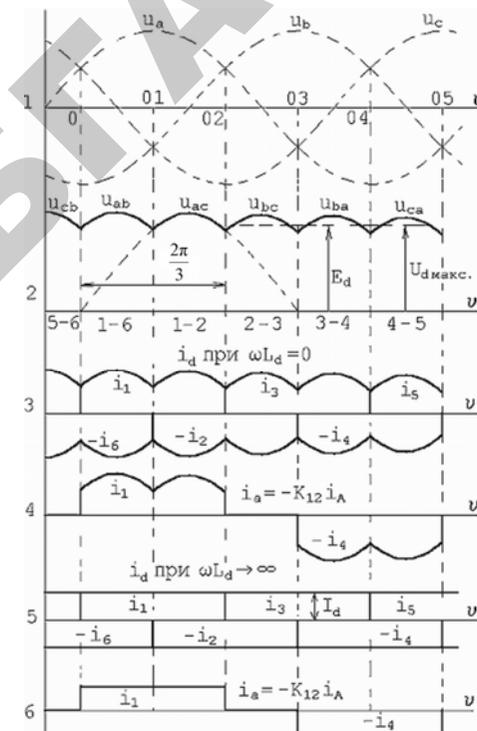


Рис. 4.2. Диаграммы напряжений и токов в выпрямителе при $\alpha = 0$

Из рис. 4.2 (оси 1 и 2) видно, что моменты коммутации совпадают с моментами прохождения через нуль линейных напряжений (когда равны два фазных напряжения).

В промежутке (0–01) наибольшее положительное значение имеет напряжение u_A , подаваемое к аноду тиристора 1, а наибольшее отрицательное значение – напряжение u_B , подводимое к катоду тиристора 6. Следовательно, в этом промежутке одновременно включены вентили 1 и 6. Через тиристор 1 положительное напряжение u_A подводится к нижнему зажиму, а через тиристор 6 отрицательное

напряжение u_B подводится к верхнему зажиму сопротивления R_d . Поэтому выпрямленное напряжение

$$u_d = u_A - u_B. \quad (4.1)$$

В точке 01 напряжение $u_B = u_C$, поэтому из анодной группы включается тиристор 2. Так как правее точки 01 напряжение u_C имеет наибольшее отрицательное значение, тиристор 6 выключается. В промежутке (01–02) одновременно включены тиристоры 1 и 2 и выпрямленное напряжение

$$u_d = u_A - u_C. \quad (4.2)$$

Очевидно, что амплитуда выпрямленного напряжения

$$U_d \max = \sqrt{6} \cdot E_2. \quad (4.3)$$

К каждому закрытому тиристорному приложено линейное напряжение, поэтому амплитуда обратного напряжения

$$U_v \max = \sqrt{6} \cdot E_2. \quad (4.4)$$

Число пульсаций выпрямленного напряжения $m = 6$.

Постоянная составляющая выпрямленного напряжения (среднее значение) вычисляется для интервала повторяемости выпрямленного напряжения, равного $\pi/3$:

$$U_d = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2}{3}\pi} \sqrt{6} \cdot E_2 \sin \omega t d\omega t = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_2, \quad (4.5)$$

где E_2 – действующее значение фазного напряжения вторичных обмоток трансформатора.

Действующее значение тока вторичной обмотки (ось б)

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d, \quad I_d = \frac{U_d}{R_d}. \quad (4.6)$$

Пусть угол управления $\alpha > 0$. В трехфазной мостовой схеме на управляемые тиристоры отпирающие импульсы поступают с задержкой на угол α относительно нулей линейных напряжений или моментов пересечения синусоид фазных напряжений (рис. 4.3).

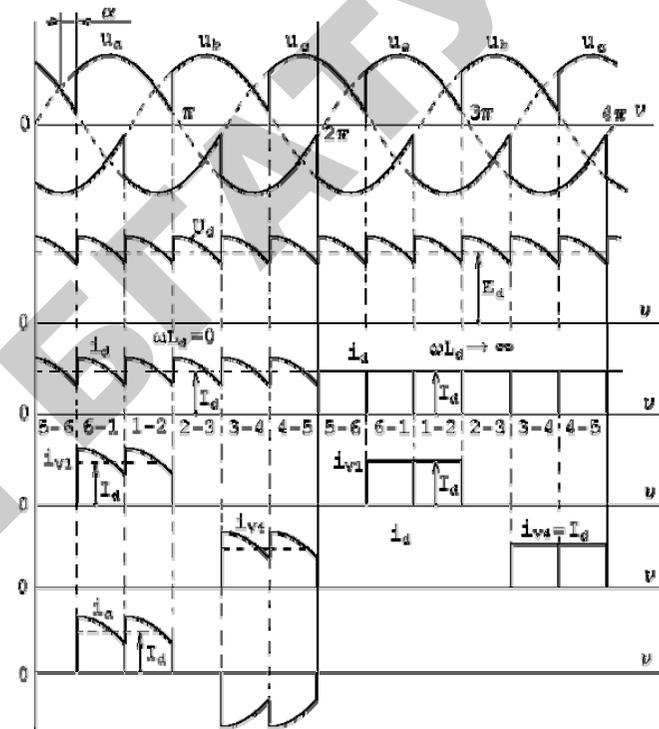


Рис. 4.3. Диаграммы напряжений и токов в выпрямителе при углах $0 < \alpha < \pi/3$

В результате задержки моментов коммутации тиристоров на угол α среднее значение выпрямленного напряжения, образованного из соответствующих частей линейных напряжений, снижается.

До тех пор пока кривая мгновенных значений выпрямленного напряжения u_d остается выше нуля, что соответствует диапазону изменения угла управления $0 < \alpha < \pi/3$, выпрямленный ток i_d будет непрерывным вне зависимости от характера нагрузки. Поэтому при углах $0 < \alpha < \pi/3$ среднее значение выпрямленного напряжения для активной и активно-индуктивной нагрузки будет равно:

$$U_d = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{2}{3}\pi+\alpha} \sqrt{6} \cdot E_2 \sin \omega t d\omega t = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_2 \cos \alpha = U_{d0} \cos \alpha. \quad (4.7)$$

При углах $\alpha > \pi/3$ и активной нагрузке в напряжении u_d и токе i_d появляются интервалы с нулевым значением (рис. 4.4), т. е. наступает режим работы с прерывистым выпрямленным током.

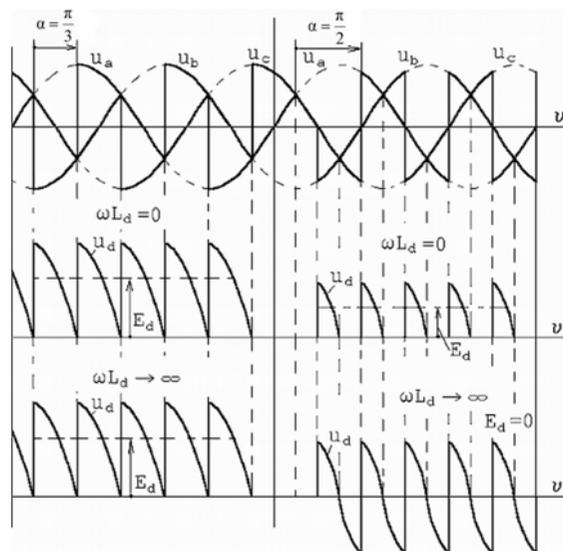


Рис. 4.4. Диаграммы напряжений и токов в выпрямителе при углах $\alpha = \pi/3$ и $\alpha > \pi/3$

Среднее значение выпрямленного напряжения для этого случая может быть выражено следующим образом:

$$U_d = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3} + \alpha}^{\pi} \sqrt{6} \cdot E_2 \sin \omega t \, d\omega t = U_{d0} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi}{3} + \alpha \right) \right], \quad (4.8)$$

где

$$U_{d0} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_2.$$

Замечание. В режиме с прерывистым током i_d для обеспечения работы данной схемы, а также для ее первоначального запуска следует подавать на вентили схемы сдвоенные отпирающие импульсы с интервалом $\pi/3$ или одиночные, но с длительностью, большей, чем $\pi/3$. Это объясняется тем, что для образования замкнутой цепи

протекания тока i_d необходимо обеспечить одновременное включение вентиля анодной группы и вентиля катодной группы.

При изменении угла α от 0 до $\pi/3$ регулировочная характеристика для активной и активно-индуктивной нагрузки описывается формулой

$$U_d = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_2 \cos \alpha = U_{d0} \cos \alpha. \quad (4.9)$$

При активно-индуктивной нагрузке и углах $\alpha > \pi/3$, если $\omega L_d \rightarrow \infty$ или отношение $\omega L_d / R_d$ таково, что обеспечивается режим непрерывного тока i_d , среднее значение выпрямленного напряжения также определяется по формуле

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha. \quad (4.10)$$

На рис. 4.5 приведены регулировочные характеристики трехфазного управляемого выпрямителя, собранного по мостовой схеме включения тиристоров, для случая активной и активно-индуктивной нагрузки.

При угле управления тиристорами $\alpha = \pi/2$ среднее значение U_d становится равным нулю. Это соответствует равенству площадей положительного и отрицательного участков кривой выпрямленного напряжения, что свидетельствует об отсутствии в нем постоянной составляющей (кривая 2 на рис. 4.5).

Начиная с угла $\alpha = \pi/3$ при активной нагрузке регулировочная характеристика (кривая 1 на рис. 4.5) описывается формулой

$$U_d = U_{d0} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi}{3} + \alpha \right) \right]. \quad (4.11)$$

Значения в заштрихованной области на рис. 4.5 соответствуют семейству регулировочных характеристик в режиме с прерывистым током i_d при различных значениях $\omega L_d / R_d$.

Примем индуктивность L_d настолько большой, что ток нагрузки i_d до момента отпирающего следующего тиристора не успевает пройти через нуль. Когда ток через нуль не проходит, он нарастает от интервала к интервалу и устанавливается в течение ряда периодов (обычно трех–четырех).

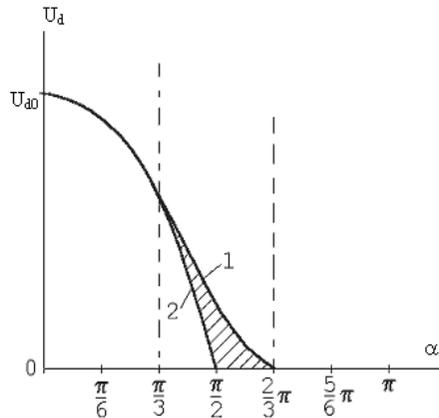


Рис. 4.5. Регулировочные характеристики трехфазного мостового управляемого выпрямителя:

1 – регулировочная характеристика при активной нагрузке;

2 – регулировочная характеристика при активно-индуктивной нагрузке

В трехфазной мостовой схеме к нагрузке $R-L$ подключено напряжение

$$u = U_m \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha + \omega t\right), \quad (4.12)$$

где

$$U_m = \sqrt{6} \cdot E_2.$$

Угол естественного включения вентилей при $\alpha = 0$ составляет $\pi/3 = 60$ эл. град.

Ток через нагрузку определяется дифференциальным уравнением

$$U_m \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha + \omega t\right) = Ri + L \cdot \frac{di}{dt}. \quad (4.13)$$

Общий интеграл решения уравнения (4.12):

$$i = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha + \omega t - \varphi\right) + A_n e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (4.14)$$

где φ – угол нагрузки;

τ – постоянная времени цепи нагрузки;

A_n – постоянная интегрирования, определяемая в каждом конкретном случае из начальных условий.

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\omega L}{R}, \quad \tau = \frac{L}{R}.$$

Для определения тока в любом интервале времени удобно использовать разностные уравнения.

В общем случае к нагрузке $R-L$ может быть подключено напряжение противо-ЭДС:

$$u = U_m \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha + \omega t\right) - E_0, \quad (4.15)$$

где E_0 – противо-ЭДС, например аккумуляторная батарея или якорь двигателя постоянного тока. При воздействии противо-ЭДС можно получить режим прерывистых токов.

Режим работы трехфазного управляемого мостового выпрямителя, когда ток нагрузки падает до нуля точно в момент включения очередных тиристорov, называется граничным, а ток нагрузки в этом случае называется гранично-непрерывным.

Методика выполнения лабораторной работы

1. На основании общих сведений изучить принципы построения и работы трехфазных управляемых выпрямителей.

2. Изучить описание универсального лабораторного стенда.

Для проведения необходимых экспериментальных исследований универсальный лабораторный стенд в своем составе имеет трехфазный управляемый выпрямитель, выполненный на базе тиристорov с номинальным током 25 А.

В трехфазном режиме работы тиристоры VS1, VS3, VS5 образуют катодную группу, реализуя положительный выход мостового выпрямителя, а тиристоры VS4, VS6, VS2 – анодную группу, реализуя отрицательный его выход (рис. 4.6).

Работа тиристорov управляемого выпрямителя в трехфазном режиме контролируется с помощью микроконтроллера, основной задачей которого является подача сигналов на тиристоры. Для реализации этого в универсальном стенде имеется шесть источников питания с независимым управлением, три из которых (управление тиристорами VS1, VS3, VS5) имеют гальваническую развязку от трех остальных (управление тиристорами VS4, VS6, VS2). В качестве источников питания используются импульсные трансформаторы.

Универсальный стенд позволяет исследовать работу трехфазного управляемого выпрямителя на активную, активно-индуктивную и двигательную (активно-индуктивную с противо-ЭДС) нагрузку.

Для проведения необходимых измерений в состав универсального стенда входят измерительные приборы, позволяющие определять действующие и средние значения постоянного и переменного тока и напряжения.

Стенд также позволяет осуществить индикацию измеренных величин и передачу данных на компьютер через интерфейс RS-485.

Для более детального исследования работы трехфазного управляемого выпрямителя необходим осциллограф.

3. Исследование работы трехфазного управляемого выпрямителя на активную нагрузку.

3.1. Собрать схему подключения трехфазного управляемого выпрямителя к сети переменного тока (рис. 4.6).

3.2. Собрать схему подключения блока напряжения задания для трехфазного управляемого выпрямителя (рис. 4.7).

3.3. Собрать схему подключения активной нагрузки на выход трехфазного управляемого выпрямителя (рис. 4.8).

3.4. Подключить стенд к трехфазной сети (включить три автоматических выключателя, расположенные в левой нижней части стенда и имеющие надпись «Сеть»). Перед включением стенда необходимо убедиться, что все тумблеры, управляющие включением преобразователей, находятся в положении «выключено», а на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки.

3.5. Задать трехфазный режим работы управляемого выпрямителя (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.», установить в положение «Трехфазный»).

3.6. Включить управляемый выпрямитель (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.», перевести в положение «Вкл.»).

3.7. Изменяя угол управления α от 0 до 120 эл. град. (с помощью резистора задания R18 в окошке «Угол управления, град.»), снять по вольтметру PV1 среднее значение выпрямленного напряжения U_{CP} на выходе управляемого выпрямителя. Данные занести в таблицу.

Примечание: при наличии осциллографа целесообразно для двух различных углов управления тиристорами выпрямителя записать сигналы сетевого напряжения, выпрямленного напряжения и тока нагрузки.

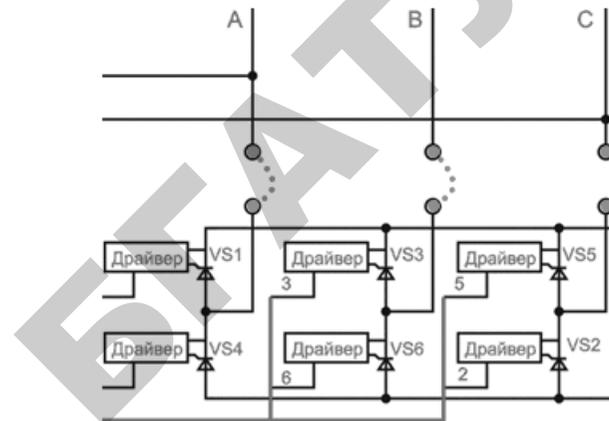


Рис. 4.6. Схема подключения трехфазного управляемого выпрямителя к сети переменного тока

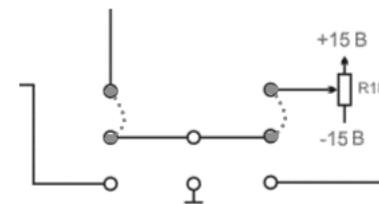


Рис. 4.7. Схема подключения блока напряжения задания для трехфазного управляемого выпрямителя

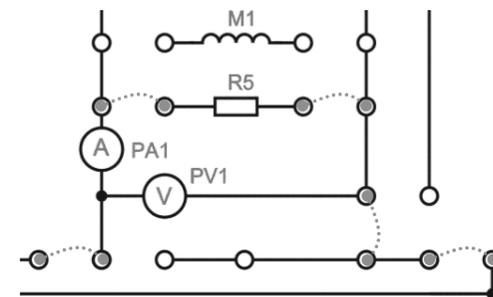


Рис. 4.8. Схема подключения активной нагрузки на выход трехфазного управляемого выпрямителя

3.8. По завершении исследования вывести резистор R18 в начальное положение, отключить управляемый выпрямитель (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.», перевести в положение «Выкл.»), отключить автоматические выключатели, расположенные в левой нижней части стенда, имеющие надпись «Сеть».

Таблица

Результаты исследований трехфазного управляемого выпрямителя на активную, активно-индуктивную и двигательную нагрузку

Нагрузка	Величины	Значения измеренных величин												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Активная	α , эл. град.													
	U_{CP} , В													
Активно-индуктивная	α , эл. град.													
	U_{CP} , В													
Двигательная	α , эл. град.													
	U_{CP} , В													

4. Исследование работы трехфазного управляемого выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку.

4.1. Собрать схемы в соответствии с п. 3.1–3.2 или, при собранной схеме, убедиться в правильности подключения трехфазного управляемого выпрямителя (рис. 4.6) и блока напряжения задания (рис. 4.7).

4.2. Собрать схему подключения активно-индуктивной нагрузки на выход трехфазного управляемого выпрямителя (рис. 4.9).

Примечание: в качестве активно-индуктивной нагрузки в стенде используется независимая обмотка возбуждения двигателя постоянного тока, которая обладает индуктивностью и активным сопротивлением.

Подключение стенда производится аналогично методике, изложенной в п. 3.4–3.8. Далее, изменяя угол управления α от 0 до 90 эл. град. (с помощью резистора задания R18 в окошке «Угол управления, град.»), снять по вольтметру PV1 среднее значение выпрямленного напряжения U_{CP} на выходе управляемого выпрямителя. Данные занести в таблицу.

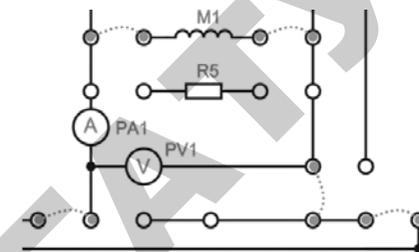


Рис. 4.9. Схема подключения активно-индуктивной нагрузки на выход трехфазного управляемого выпрямителя

4.3. Для исследования работы трехфазного управляемого выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку с другим соотношением активного сопротивления и индуктивности собрать схему, в которой в качестве нагрузки используются активное сопротивление R5 и обмотка возбуждения ДПТ, включенные последовательно (рис. 4.10).

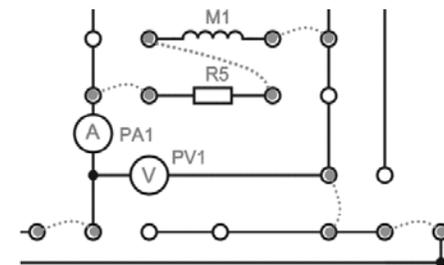


Рис. 4.10. Схема подключения активно-индуктивной нагрузки с другим соотношением активного и индуктивного сопротивления на выход трехфазного управляемого выпрямителя

5. Исследование работы трехфазного управляемого выпрямителя на двигательную нагрузку.

В качестве двигательной нагрузки используется двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, якорь которого подключается на выход трехфазного управляемого выпрямителя, а обмотка возбуждения получает питание от широтно-импульсного преобразователя (ШИП). Двигатель имеет следующие параметры: тип двигателя – ПЛ-062; номинальная мощность – 120 Вт; номинальное напряжение – 230 В; номинальный ток якоря – 0,95 А; номинальная частота вращения – 3000 об/мин; номинальный ток возбуждения – 0,18 А; номинальный КПД – 61 %.

5.1. Собрать схемы в соответствии с п. 3.1–3.2 или, при собранной схеме, убедиться в правильности подключения трехфазного управляемого выпрямителя (рис. 4.6) и блока напряжения задания (рис. 4.7).

5.2. Собрать схему подключения ШИП к трехфазной сети переменного тока (рис. 4.11).

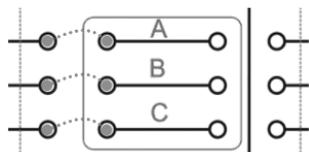


Рис. 4.11. Схема подключения ШИП к трехфазной сети переменного тока

5.3. Собрать схему подключения якоря двигателя на выход трехфазного управляемого выпрямителя (рис. 4.12).

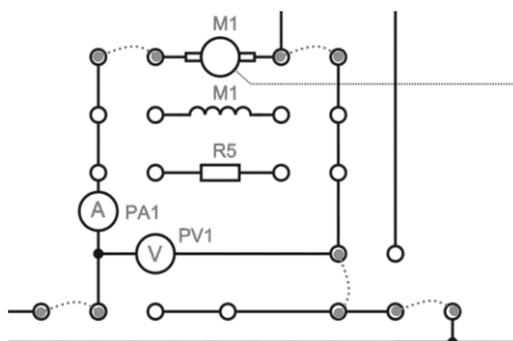


Рис. 4.12. Схема подключения якоря двигателя на выход трехфазного управляемого выпрямителя

5.4. Собрать схему подключения обмотки возбуждения к ШИП (рис. 4.13).

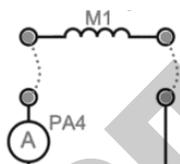


Рис. 4.13. Схема подключения обмотки возбуждения к ШИП

5.5. Собрать схему подключения напряжения задания для ШИП обмотки возбуждения (рис. 4.14).

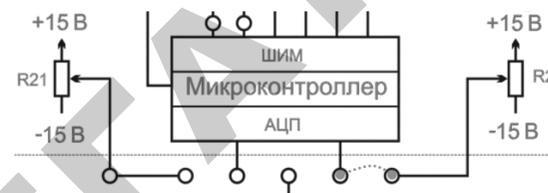


Рис. 4.14. Схема подключения напряжения задания для ШИП обмотки возбуждения

5.6. Подключить стенд к трехфазной сети (включить три автоматических выключателя, расположенные в левой нижней части стенда и имеющие надпись «Сеть»). Перед включением стенда необходимо убедиться, что все тумблеры, управляющие включением преобразователей, находятся в положении «выключено», а на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки.

5.7. Включить ШИП возбуждения (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Скважность (возбуждение), %») и резистором R22 установить номинальный ток возбуждения ДПТ НВ, равный 0,18 А, по прибору РА4.

Дальнейшие исследования выполняются аналогично методике, изложенной в п. 3.5–3.7.

5.8. По завершении исследования вывести резистор R18 в начальное положение, отключить управляемый выпрямитель (тумблер в нижней части панели стенда, в окошке «Угол управления, град.», перевести в положение «Выкл.»), отключить ШИП, отключить автоматические выключатели, расположенные в левой нижней части стенда, имеющие надпись «Сеть». Снять установленные переключки.

6. После проведения экспериментальных исследований построить по данным таблицы регулировочные характеристики $U_n = f(\alpha)$ трехфазного управляемого выпрямителя при его работе на активную, активно-индуктивную и двигательную нагрузку.

7. На основании проведенных исследований сделать выводы о влиянии вида нагрузки на регулировочные характеристики трехфазного управляемого выпрямителя.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схемы лабораторной установки (рис. 4.6–4.14).
4. Таблица с опытными данными.
5. Регулировочные характеристики $U_n = f(\alpha)$ трехфазного управляемого выпрямителя при его работе на активную, активно-индуктивную и двигательную нагрузку.

Контрольные вопросы

1. Что такое регулировочная характеристика вентильного преобразователя?
2. От какой точки напряжений отсчитывается угол открытия вентилей α в трехфазной нулевой схеме выпрямителя и какова его максимальная величина?
3. Начертить регулировочную характеристику трехфазного управляемого мостового выпрямителя при активной нагрузке.
4. Почему для запуска мостовой схемы выпрямления следует подавать сдвоенные отпирающие импульсы с интервалом $\pi/3$?
5. При каких углах α выпрямленный ток будет непрерывен вне зависимости от характера нагрузки?
6. Какое из напряжений – фазное или линейное – влияет на выпрямленную форму напряжения в трехфазном мостовом выпрямителе?
7. Что такое режим прерывистого тока нагрузки?
8. Найти максимальный угол управления для мостовой трехфазной схемы с нагрузкой $\varphi_{\text{нагр}} = 60$ эл. град.
9. Найти среднее значение выпрямленного напряжения для трехфазной мостовой схемы выпрямления, если известно, что $E_2 = 125$ В, $\alpha = 60$ эл. град.
10. Начертить регулировочную характеристику трехфазного управляемого мостового выпрямителя при активно-индуктивной нагрузке $L = \infty$.
11. Начертить регулировочную характеристику трехфазного управляемого мостового выпрямителя при активно-индуктивной нагрузке $\varphi_{\text{нагр}} = 60$ эл. град.
12. Что такое режим непрерывного тока нагрузки?
13. Как влияет на работу управляемого выпрямителя наличие в нагрузке источника ЭДС?

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Цель занятия: исследовать преобразователь частоты ОВЕН ПЧВ-1.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с общей структурной схемой преобразователей частоты.
2. Произвести визуальный осмотр, изучить схему соединений преобразователя частоты с векторным управлением (ПЧВ) ОВЕН ПЧВ-1.
3. Произвести быстрый запуск управления преобразователем частоты с локальной панели оператора (ЛПО).
4. Изучить и воспроизвести типовые конфигурации ПЧВ для управления электродвигателем.
5. Произвести программирование и управление преобразователем частоты ОВЕН ПЧВ-1 с персонального компьютера (ПК).

Теоретические сведения

Преобразователь частоты (ПЧ) – это устройство, предназначенное для преобразования переменного тока (напряжения) одной частоты в переменный ток (напряжение) другой частоты.

Схема ПЧ в общем случае состоит из силовой и управляющей частей. Силовая часть преобразователей обычно выполняется на тиристорах или транзисторах, работающих в режиме электронных ключей. Управляющая часть выполняется на цифровых микропроцессорах и обеспечивает управление силовыми электронными ключами, а также решение большого количества вспомогательных задач (контроль, диагностика, защита).

ПЧ, применяемые в регулируемом электроприводе, в зависимости от структуры и принципа работы силовой части делятся на *два класса*:

- 1) преобразователи частоты с непосредственной связью (НПЧ) без промежуточного звена постоянного тока;
- 2) преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока.

В лабораторной работе производится исследование преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока. Структурная схема такого преобразователя частоты изображена

на рис. 5.1. Сначала переменный ток частотой 50 Гц преобразуется в постоянный выпрямленный ток выпрямителем UZ, а затем этот ток преобразуется с помощью инвертора в переменный ток различной частоты. Фильтр Ф предназначен для сглаживания пульсаций выпрямленного тока, состоит из дросселя L и конденсатора С.

Система управления (СУ) строится на базе быстродействующих микропроцессоров. Система управления обеспечивает управление IGBT-модулями и узлом торможения (УТ) с тормозным резистором R_t. Система управления связана с пультом управления (ПУ) и с блоком ввода/вывода через блок гальванической развязки.

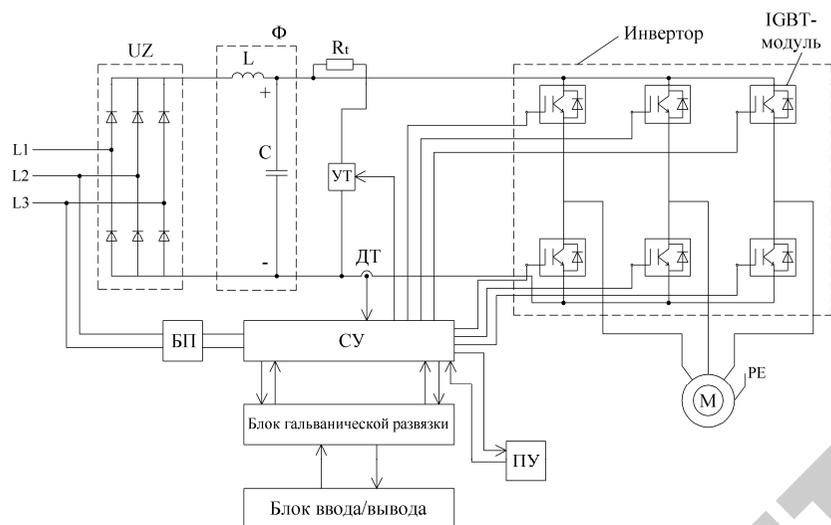


Рис. 5.1. Структурная схема преобразователя частоты с автономным инвертором: UZ – неуправляемый выпрямитель; УТ – узел торможения; R_t – тормозной резистор; БП – блок питания; СУ – система управления; ПУ – пульт управления; L – дроссель; С – конденсатор; ДТ – датчик тока; М – электродвигатель

Инвертор состоит из шести IGBT-модулей. Модуль состоит из IGBT-транзисторов, шунтируемых быстродействующими диодами обратного тока. Преобразование инвертором постоянного напряжения в переменное с различной частотой осуществляется при помощи *широтно-импульсной модуляции* (ШИМ). Суть ШИМ заключается в изменении длительности высокочастотных импульсов, следующих с одинаковой несущей частотой, в зависимости от заданного (модулирующего) сигнала.

Таким образом, переменная трехфазная частота тока на выходе инвертора получается из постоянного тока в результате поочередного, с большой частотой, открытия IGBT-модулей в каждой фазе по определенному закону управления, выбираемого микропроцессорной системой управления.

КПД современных преобразователей частоты достигает 95...98 %.

Методика выполнения лабораторной работы

1. Изучив теоретические сведения данной лабораторной работы, ознакомиться с общей структурной схемой преобразователей частоты.
2. Произвести визуальный осмотр, изучить схему соединений преобразователя частоты с векторным управлением (ПЧВ) ОВЕН ПЧВ-1.
 - 2.1. Внешний вид исследуемого преобразователя частоты ОВЕН ПЧВ-1 представлен на рис. 5.2, а также на стенде лабораторной установки.



Рис. 5.2. Внешний вид преобразователя частоты ОВЕН ПЧВ-1

- 2.2. Схема соединений преобразователя частоты показана на рис. 5.3.

Согласно схеме каждая клемма, к которой производится подключение внешних устройств, имеет свое цифровое обозначение. Например, электродвигатель подключается к клеммам 07...10, причём защитный проводник PE – к клемме 07, а силовые проводники – к клеммам 08, 09, 10. Связь с компьютером осуществляется

по интерфейсу RS-485 через клеммы 68, 69. Преобразователь имеет аналоговые и цифровые входы, с помощью которых можно осуществлять управление преобразователем частоты с внешних устройств.

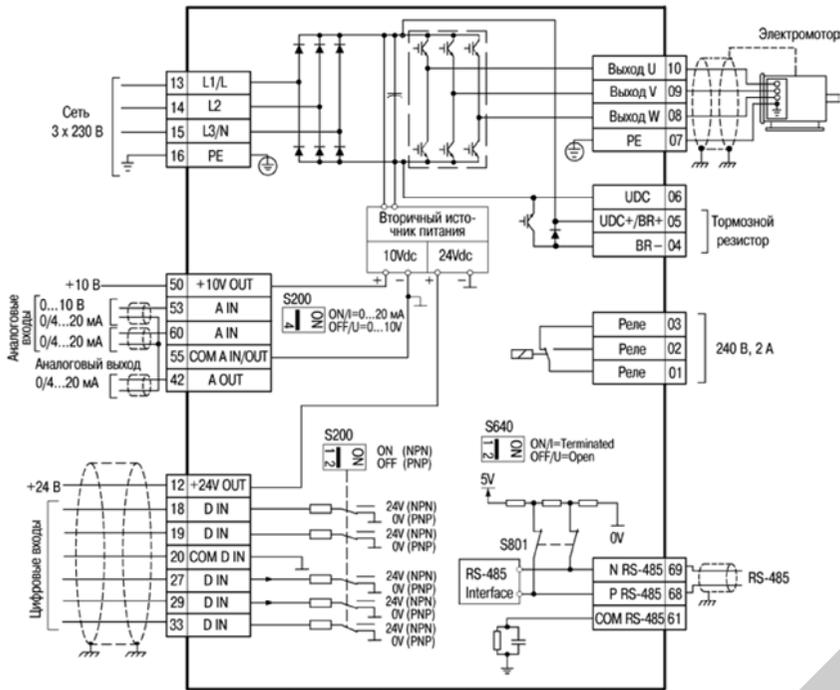


Рис. 5.3. Схема соединений преобразователя частоты

3. Изучить назначение органов управления и элементов индикации локальной панели оператора преобразователя частоты.

Съемная локальная панель оператора (ЛПО) (рис. 5.4) имеет собственные органы управления и предназначена для программирования и отображения режимов работы и значений параметров прибора на встроенном жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ). Запрограммированный прибор может функционировать и без ЛПО.

3.1. **Жидкокристаллический индикатор** используется для отображения следующей информации:

– номер набора параметров («Setup #»). Отображаются номера активного и редактируемого наборов параметров.

Если текущий набор параметров является одновременно и активным (действующим), и редактируемым, то на ЖКИ отображается только номер активного (действующего) набора.

Если активный и редактируемый наборы разные, то на ЖКИ отображаются оба номера (1 и 2). Мигающая цифра соответствует редактируемому набору параметров;

– номер текущего (редактируемого) параметра. Отображается небольшими цифрами в левой части ЖКИ («3-11» на рис. 5.5).

– значение выбранного параметра. Отображается крупными цифрами в середине ЖКИ («65.0» на рис. 5.5);

– единицы измерения текущего (редактируемого) параметра. Отображаются справа от его значения: «Hz» (Гц), «A» (А), «V» (В), «kW» (кВт), «hp» (л. с.), «%», «s» (с) или «rpm» (об/мин).

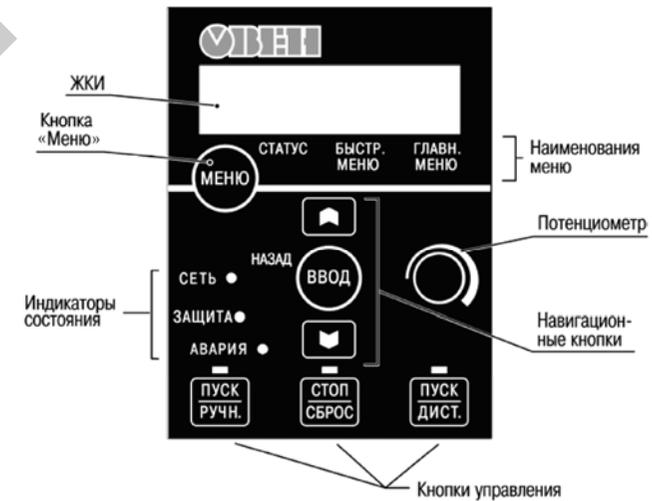


Рис. 5.4. Локальная панель оператора

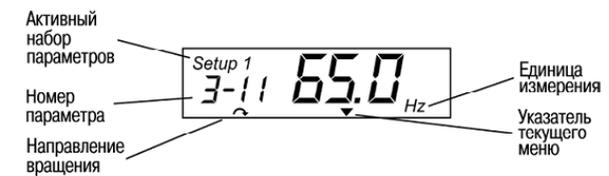


Рис. 5.5. Отображение информации на ЖКИ

3.2. **Кнопка «Меню».** Каждое нажатие на кнопку «Меню» приводит к последовательной смене активности меню ЛПО:

– Меню «Статус» активируется при включении прибора. В режиме «ПУСК/ДИСТ» на ЖКИ отображается значение выбранного навигационными кнопками параметра прибора. В режиме «ПУСК/РУЧН» на дисплее отображается локальное задание ЛПО;

– «Быстр. меню» – на ЖКИ отображаются параметры быстрого меню и их настройки. Параметры могут просматриваться и редактироваться;

– «Главное меню» – на ЖКИ отображаются все параметры прибора и их настройки. Параметры могут просматриваться и редактироваться.

3.3. Световые индикаторы:

– зеленый светодиод «Сеть» – питание преобразователя частоты включено;

– желтый светодиод «Защита» – предупреждение активно;

– мигающий красный светодиод «Авария» – аварийный сигнал активен.

3.4. Навигационные кнопки:

– «Назад» – возврат на предыдущий шаг или уровень в структуре перемещений по списку параметров;

– [▲] и [▼] – переход вверх или вниз между группами или значениями параметров;

– «Ввод» – выбор параметра и принятие изменений.

3.5. **Кнопки управления режимами** расположены в нижней части ЛПО и снабжены желтыми индикаторами. Свечение индикатора маркирует активную кнопку и режим работы:

– «ПУСК/РУЧН» – локальное (с ЛПО) управление ПЧВ и асинхронным двигателем (АД);

– «СТОП/СБРОС» – останов АД, программный сброс событий;

– «ПУСК/ДИСТ» – управление по цифровым входам/шине.

3.6. **Потенциометр.** В зависимости от режима выполняет две функции:

– действует в качестве программируемого аналогового входа (режим «ПУСК/ДИСТ»);

– управляет активным заданием (режим «ПУСК/РУЧН»).

4. Произвести быстрый запуск преобразователя частоты при управлении им с локальной панели оператора.

4.1. Включить на панели стенда автоматический выключатель.

4.2. Войти в быстрое меню преобразователя частоты для ввода основных настроек.

Для входа в быстрое меню следует нажимать на кнопку «Меню» до перемещения курсора на надпись «Быстрое меню», затем нажать на кнопку «Ввод». Для перехода между параметрами используются кнопки [▲] и [▼]. Для выбора требуемого параметра следует нажать на кнопку «Ввод». Для изменения значения параметра используются кнопки [▲] и [▼]. Чтобы принять новое значение параметра, следует нажать на кнопку «Ввод». Для выхода из быстрого меню следует дважды нажать на кнопку «Ввод» (для перехода в меню «Статус») или на кнопку «Меню» (для перехода в «Главное меню»).

4.3. Согласно табл. 5.1 ввести технические данные двигателя в соответствующую область быстрого меню.

Таблица 5.1

Параметры электродвигателя быстрого меню

Наименование параметра	Код параметра	Значение
Мощность, кВт (kW)	1-20	Паспортное
Номинальное напряжение, В (V)	1-22	Паспортное
Номинальная частота работы, Гц (Hz)	1-23	Паспортное
Ток электродвигателя, А	1-24	Паспортное
Номинальная частота вращения, об/мин (rpm)	1-25	Паспортное

4.4. Провести автоматическую адаптацию асинхронного электродвигателя (ААД):

– установить для параметра 1-29 значение 2 – «ААД. Включено»;

– нажать на кнопку «ВВОД» (на ЖКИ появится сообщение «PUSH hand»);

– нажать на кнопку «ПУСК/РУЧН» для запуска процесса ААД (после автоматического выполнения последовательности операций на ЖКИ появится сообщение «PUSH OK»);

– нажать на кнопку «ВВОД» (автоматическая адаптация завершается).

Программная конфигурация для установки плавного разгона/торможения АД

Код	Наименование	Значение	Примечание
1-71	Задержка запуска, с	3	От команды запуска
3-15	Источник задания 1	1	Аналоговый вход, клемма 53
3-16	Источник задания 2	0	Не используется
3-17	Источник задания 3	0	Не используется
3-40	Тип изменения скорости	2	S-образный
3-41	Время разгона, с	10	Настройка пускового тока и перенапряжения
3-42	Время замедления, с	5	

4.5. Провести пробный пуск ПЧВ с электродвигателем. Для этого нажать кнопку «ПУСК/РУЧН», затем вращением ручки потенциометра на ЛПО1 или кнопками «БОЛЬШЕ/МЕНЬШЕ» на ЛПО2 управлять скоростью вращения АД. После опробования ПЧВ готов к работе или дальнейшему программированию.

5. Изучить и воспроизвести типовые конфигурации ПЧВ для управления электродвигателем.

5.1. *Плавный разгон и торможение АД.* Осуществить внешним потенциометром RP в режиме «ПУСК/ДИСТ». Для этого обратить внимание на рис. 5.6 и 5.7:

- подсоединить элементы управления согласно рис. 5.7;
- внести значения параметров, указанных в табл. 5.2;
- пуск/останов АД осуществлять замыканием/размыканием S1;
- реверс осуществлять замыканием S2;
- регулирование установленной частоты осуществлять потенциометром RP.



Рис. 5.6. Характеристики разгона/торможения

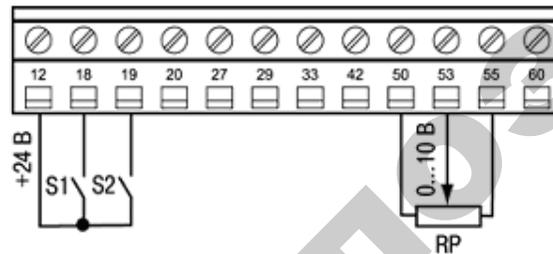


Рис. 5.7. Схема подключений конфигурации: S1 – пуск, S2 – реверс, RP – потенциометр

5.2. *Управление скоростью АД по цифровым входам.* Конфигурация предназначена для управления скоростью АД по цифровым входам, от 0 до 50 Гц, без подключения внешнего потенциометра, с разомкнутым контуром процесса и векторным принципом управления.

В режиме «ПУСК/ДИСТ» для цифровых входов заданы функции:

- фиксации задания или выхода, в параметр 5-11 (19 или 20) соответственно;
- цифрового потенциометра «увеличение», в параметр 5-12 (21);
- цифрового потенциометра «снижение», в параметр 5-13 (22).

Схема соединения клемм ПЧВ приведена на рис. 5.8, значения параметров – в табл. 5.3.

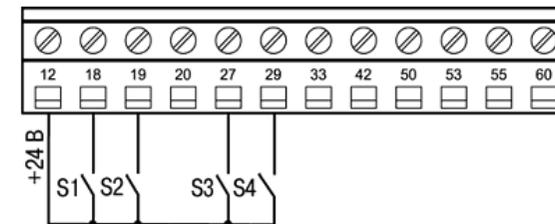


Рис. 5.8. Схема подключений для конфигураций «Управление скоростью АД при помощи цифровых входов»

(S1 – пуск, S2 – фиксация выхода или задания, S3 – увеличение скорости, S4 – снижение скорости)

и «Работа ПЧ на четырех предустановленных скоростях»

(S1 – пуск на низшей скорости при разомкнутых S2...S4, S2 – средняя скорость, S3 – высокая скорость, S4 – фиксированная скорость)

Таблица 5.3

Пример программной конфигурации
для управления скоростью АД по цифровым входам

Код	Наименование	Значение	Примечание
3-15	Источник задания 1	0	Не используется
3-16	Источник задания 2	0	Не используется
3-17	Источник задания 3	0	Не используется
3-51	Время разгона, с	5	От 0 до 50 Гц
3-52	Время замедления, с	5	От 50 до 0 Гц
4-10	Направление вращения	0	По часовой стрелке
5-10	Функция цифрового входа, клемма 18	8	Пуск
5-11	Функция цифрового входа, клемма 19	19 или 20	Фиксация выхода или задания
5-12	Функция цифрового входа, клемма 27	21	Увеличение скорости
5-13	Функция цифрового входа, клемма 29	22	Снижение скорости

Алгоритм управления. В режиме «ПУСК/ДИСТ»:

- подсоединить элементы управления согласно рис. 5.8;
- внести значения параметров, указанных в табл. 5.3;
- «ПУСК/ОСТАНОВ» осуществить замыканием/размыканием S1;
- «Зафиксировать задание/выход» осуществить замыканием S2;
- «Увеличение скорости» произвести замыканием S3 при замкнутом S2;
- «Снижение скорости» произвести замыканием S4 при замкнутом S2.

5.3. Работа на четырех предустановленных скоростях. Конфигурация предназначена для управления скоростью АД по цифровым входам, на четырех фиксированных скоростях, с разомкнутым контуром процесса и векторным принципом управления. В режиме «ПУСК/ДИСТ» необходимо осуществить следующие режимы управления:

- «Слабый обдув»;
- «Умеренный обдув»;
- «Сильный обдув»;
- «Фиксированная скорость».

Алгоритм управления. В режиме «ПУСК/ДИСТ»:

- подсоединить элементы управления согласно рис. 5.8;
- внести значения параметров, указанных в табл. 5.4;
- «ПУСК/ОСТАНОВ» осуществить замыканием/размыканием S1;
- «Слабый обдув» (20 % NHOM) осуществить при разомкнутых S2, S3, S4;
- «Умеренный обдув» (50 % NHOM) произвести замыканием S2;
- «Сильный обдув» (100 % NHOM) произвести замыканием S3;
- «Фиксированную скорость» по 3-11 установить замыканием S4.

Таблица 5.4

Пример программной конфигурации для работы ПЧ
на четырех предустановленных скоростях

Код	Наименование	Значение	Примечание
3-10[0]	Предустановленное задание, %	20	Скорость 10 Гц
3-10[1]		50	Скорость 25 Гц
3-10[2]		100	Скорость 50 Гц
3-15	Источник задания 1	0	Не используется
3-16	Источник задания 2	0	Не используется
3-17	Источник задания 3	0	Не используется
4-14	Предел частоты инвертора, Гц	50	Максимальная скорость
5-11	Функция цифрового входа, клемма 19	16	Предустановленный бит 1
5-12	Функция цифрового входа, клемма 27	17	Предустановленный бит 2

5.4. Управление скоростью с инверсной регулировочной характеристикой. Конфигурация предназначена для управления скоростью АД с разомкнутым контуром процесса и векторным принципом управления по инверсной регулировочной характеристике, т. е. при сигнале 4 мА выходная частота составляет 50 Гц, при сигнале 20 мА двигатель останавливается. В диапазоне внешнего сигнала управления на аналоговом входе (клемма 60) от 4 до 20 мА выходная частота изменяется по линейному закону (рис. 5.9).

Схема подключений конфигурации «Управление скоростью и инверсной характеристикой» приведена на рис. 5.10, а значения параметров – в табл. 5.5.

Код	Наименование	Значение	Примечание
6-24	Масштаб низкого тока, Гц	50	Минимальная скорость
6-25	Масштаб высокого тока, Гц	0	Максимальная скорость

Для коммутации цифровых входов S1 и S2 используется стандартный кнопочный пост управления «ПУСК/СТОП».

Алгоритм управления АД. В режиме «ПУСК/ДИСТ»:

- «ПУСК» осуществить кратковременным замыканием S1 при замкнутом S2;
- управление скоростью произвести сигналом на аналоговом входе, клемма 60;
- «ОСТАНОВ» осуществить кратковременным размыканием S2.

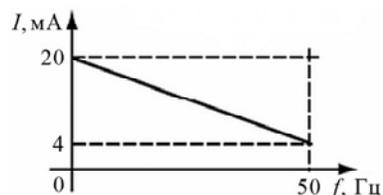


Рис. 5.9. Инверсная характеристика управления



Рис. 5.10. Схема подключений конфигурации «Управление скоростью и инверсной характеристикой»

Таблица 5.5

Программная конфигурация инверсного управления АД

Код	Наименование	Значение	Примечание
3-15	Источник задания 1	0	Не используется
3-17	Источник задания 3	0	Не используется
3-41	Время разгона, с	5	–
3-42	Время замедления, с	5	–
4-10	Направление вращения	0	По часовой стрелке
5-10	Функция цифрового входа, клемма 18	9	Импульсный пуск
5-11	Функция цифрового входа, клемма 19	6	Импульсный останов
6-22	Низкий ток, мА	4	Клемма 60

5.5. Поддержание заданного давления. Конфигурация предназначена для поддержания заданного давления с замкнутым контуром процесса по векторному принципу управления скоростью АД насосной установки на уровне задания:

- в режиме отладки «ПУСК/РУЧН» – потенциометром на ЛПО1, от 0 до 10 бар;
- в рабочем режиме «ПУСК/ДИСТ» – предустановленным заданием: 4 бар, с обратной связью по сигналу; 4–20 мА, от датчика давления с пределом до 16 бар.

При включении питания ПЧВ возобновляет работу в режиме до отключения.

Схема подключений конфигурации «Поддержание заданного давления» приведена на рис. 5.11, а значения параметров – в табл. 5.6.

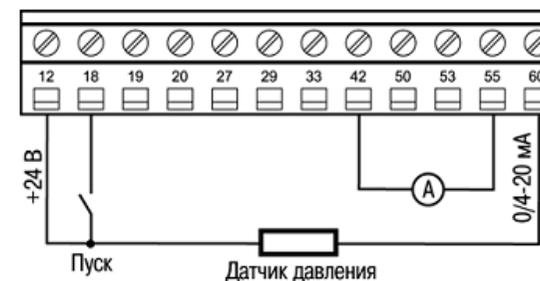


Рис. 5.11. Схема подключений конфигурации «Поддержание заданного давления»

Таблица 5.6

Программная конфигурация поддержания заданного давления

Код	Наименование	Значение	Примечание
0-04	Функция АПВ	0	Режим до отключения питания
1-00	Режим конфигурирования	3	Замкнутый контур ПИ-регулятора

Окончание таблицы 5.6

Код	Наименование	Значение	Примечание
1-03	Характер крутящего момента	3	АОЭ включена
3-03	Максимальное задание, бар	10	Верхнее значение диапазона
3-10[0]	Предустановленное задание 0, %	40	$P_{п} = 4$ бар
3-15	Источник задания 1	0	Не используется
3-16	Источник задания 2	0	Не используется
3-17	Источник задания 3	0	Не используется
3-41	Время разгона, с	5	Настройка от гидроудара
3-42	Время замедления, с	5	Настройка от гидроудара
4-12	Нижний предел скорости, Гц	20	Рекомендуемая минимальная скорость
4-14	Верхний предел скорости, Гц	50	Номинальная скорость
6-22	Низкий ток входа, клемма 60, мА	4	Нижнее значение шкалы
6-25	Масштаб высокого задания, бар	16	Верхний предел датчика $P_{дв}$
6-91	Функция аналогового выхода, клемма 42	12	Сигнал обратной связи
6-93	Минимальный масштаб выхода, клемма 42	50	Устранение смещения входа
6-94	Максимальный масштаб выхода, клемма 42	90	Вход, выход: 0–20 мА
7-20	Источник ОС для ПИ-регулятора	2	Клемма 60. Сигнал ОС в 16–52, бар
7-33	Пропорциональный коэффициент ПИ-регулятора	1	Настройка от перерегулирования
7-34	Интегральный коэффициент ПИ-регулятора	8	
14-41	Минимальное намагничивание (АОЭ), %	50	Автоматическая оптимизация

6. Произвести программирование и управление преобразователем частоты ОВЕН ПЧВ-1 с персонального компьютера (ПК).

6.1. Для удаленной настройки частотного преобразователя ОВЕН ПЧВ используется специальный конфигуратор ОВЕН ПЧВ. Связь с преобразователем осуществляется через интерфейс RS-485 по протоколу Modbus RTU.

Конфигуратор предоставляет пользователю возможность считывания всех рабочих параметров прибора и задания новых значений для изменяемых параметров. Список параметров прибора и диапазоны их значений изложены в руководстве «ОВЕН ПЧВХХ. Преобразователь частоты векторный. Руководство по эксплуатации».

Помимо основного меню преобразователя пользователь имеет доступ к меню быстрой настройки.

Дополнительно в конфигуратор включены модули для удаленного управления через интерфейс RS-485 для проверки работоспособности прибора и модуль упрощенной настройки встроенного ПИ-регулятора.

6.2. Общая структура конфигуратора.

Рабочее окно программы-конфигуратора включает:

- меню (пункты Проект, Прибор, Вид, Опции, Помощь);
- меню быстрого доступа (Создание, Открытие и Сохранение проекта; Настройки связи, кнопки Запись и Чтение параметров);
- дерево проекта, включая группы параметров ПЧВ, быстрые меню QM1 и QM2 и модули удаленного управления и настройки ПИ-регулятора;
- поле работы с параметром (группой параметров).

Дерево проекта включает группы параметров прибора (0–18), настройки быстрого меню и дополнительные модули (удаленного управления, настройки ПИ-регулятора, скалярного управления, работы с заданием, входами и выходами). При выборе параметра (группы параметров) в рабочем поле становятся доступны запись и чтение параметра (группы параметров).

Рабочее поле состоит из шести столбцов:

- «№» – номер параметра;
- «Название» – имя параметра согласно руководству по эксплуатации;
- «Чтение» – текущее значение параметра, прочитанное с частотного преобразователя;

– «Запись» – значение параметра, предполагаемое для записи в ПЧВ по команде;

– «Диапазон» – диапазон для задания параметра согласно РЭ;

– «Заводское» – заводская установка параметра согласно РЭ.

6.3. Работа с конфигуратором без подключения к ПЧВ.

Если пользователь желает создать проект для ПЧВ до подключения, он может, выбрав параметр или группу параметров, изменить их значения в поле «Запись». Вид такого проекта представлен на рис. 5.12.

Рис. 5.12. Проект без подключения к ПЧВ (настраивается группа параметров 3)

Такой проект может быть сохранен с помощью команд меню и использован в дальнейшем для записи на ПЧВ. Все незаполненные поля подразумевают сохранение тех значений, которые уже записаны в ПЧВ.

6.4. Настройка связи с ПК.

Для настройки связи ПК и ПЧВ используется меню «Настройка порта» в меню «Опции» либо панель быстрого доступа. Диалоговое окно настроек связи представлено на рис. 5.13.

В этом окне необходимо задать Com-порт согласно диспетчеру устройств. Параметр «Скорость» задается согласно значению параметра 8-32 ПЧВ, настройки четности и стоп-бит – параметру 8-33, а параметр «Адрес» – параметру 8-31 ПЧВ.

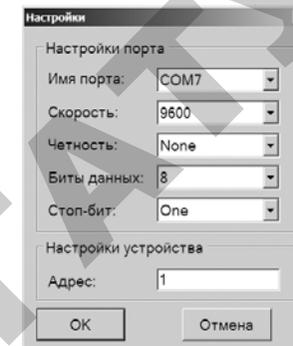


Рис. 5.13. Настройки связи ПЧВ и ПК

В случае неверных настроек связи конфигуратор выдаст сообщение «Устройство не обнаружено». В этом случае необходимо проверить соответствие настроек группы 8.

6.5. Чтение и запись параметров ПЧВ.

После настройки связи пользователь получает доступ к считыванию и изменению параметров ПЧВ через конфигуратор. Для считывания текущих значений необходимо выбрать параметр (группу параметров) в дереве проекта и пункт меню «Прочитать параметры» или соответствующую кнопку в меню быстрого доступа. После завершения чтения текущие значения будут отображаться в столбце «Чтение» рабочего поля конфигуратора (рис. 5.14).

№	Название	Чтение	Запись	Диапазон	Заводское
5-10	Клемма 18, цифровой вход	8		0-6;8-14;16-...	8
5-11	Клемма 19, цифровой вход	10		0-6;8-14;16-...	10
5-12	Клемма 27, цифровой вход	1		0-6;8-14;16-...	0
5-13	Клемма 29, цифровой вход	14		0-6;8-14;16-...	14
5-15	Клемма 33, цифровой вход	16		0-6;8-14;16-...	16
5-40	Реле функций	0		0-14;21-26;2...	0
5-55	Клемма 33, низкая частота (Гц)	20		20-4999	20
5-56	Клемма 33, высокая частота (Гц)	5000		21-5000	5000
5-57	Клемма 33, низкое задание / обрат...	0		-4999-4999	0.000
5-58	Клемма 33, высокое задание / обра...	50		-4999-4999	50.000

Рис. 5.14. Вид рабочего поля конфигуратора после завершения команды чтения (для группы 5)

Для изменения параметров через конфигуратор необходимо задать новые значения параметров в столбце «Запись» рабочего поля (см. рис. 5.15), после чего выбрать пункт меню «Записать параметры» или соответствующую кнопку в меню быстрого доступа.

№	Название	Чтение	Запись	Диапазон	Заводское
5-10	Клемма 18, цифровой вход	8	4	0-6;8-14;16-...	8
5-11	Клемма 19, цифровой вход	10	5	0-6;8-14;16-...	10
5-12	Клемма 27, цифровой вход	1		0-6;8-14;16-...	0
5-13	Клемма 29, цифровой вход	14		0-6;8-14;16-...	14
5-15	Клемма 33, цифровой вход	16	11	0-6;8-14;16-...	16
5-40	Реле функций	0	2	0-14;21-26;2-...	0
5-55	Клемма 33, низкая частота (Гц)	20		20-4999	20
5-56	Клемма 33, высокая частота (Гц)	5000		21-5000	5000
5-57	Клемма 33, низкое задание / обрат...	0		-4999-4999	0,000
5-58	Клемма 33, высокое задание / обра...	50		-4999-4999	50,000

Рис. 5.15. Задание новых значений переменных на запись (группа 5)

После завершения записи новые значения переменных будут отображаться в столбце «Чтение». В случае ошибочного значения, невозможного для записи, программа выдаст сообщение «Couldn't write value to register». В этом случае необходимо задать правильное значение, соответствующее диапазону значений параметра в РЭ. Такое же сообщение будет выдано при попытке записи в некоторые параметры групп 15, 16, 18, большинство параметров которых предназначены только для чтения.

Каждая группа параметров, в том числе и группы быстрых меню, содержит список параметров согласно руководству по эксплуатации ОВЕН ПЧВХХ. Чтение и запись параметров рекомендуется производить при остановленном приводе. Для этого следует нажать на ЛПО кнопку «Стоп/Сброс».

6.6. Работа с меню удаленного управления.

Меню удаленного управления предназначено для проверки работоспособности в заданной конфигурации привода основных элементов командного слова, слова состояния и слова задания по интерфейсу. Вид окна удаленного управления приведен на рис. 5.16.

В левой части окна размещены 8 кнопок для имитации основных функций командного слова:

- ПУСК – запуск ПЧВ в работу по заданию;
- РЕВЕРС – запуск ПЧВ в работу по заданию в обратном направлении;
- ПОСТ.Част – работа с постоянной частотой (параметр 3-11) независимо от внешних заданий;
- Предустановленное значение 1, Предустановленное значение 2, Предустановленное значение 3 – выбор в качестве задания предустановленного значения бит 1, бит 2, бит 3 соответственно (согласно значениям параметра 3-10);

- БЫСТРЫЙ СТОП – останов с торможением двигателя;
- ОСТАНОВ ВЫБЕГОМ – останов снятием напряжения с двигателя (без динамического торможения).

Рядом размещен ползунок 0...100 % для изменения величины задания по RS-485.

Примечание: для использования задания по интерфейсу необходимо установить один из параметров группы источников задания 3-15, 3-16, 3-17 равным 11.

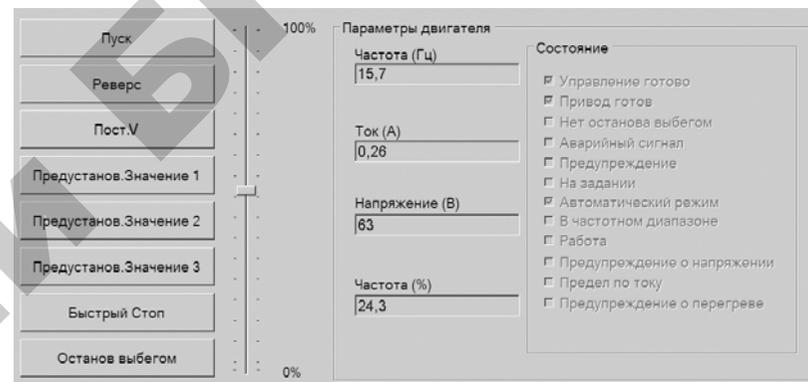


Рис. 5.16. Рабочее поле окна удаленного управления

Для того чтобы можно было во время работы оценить состояние и основные параметры двигателя, в окне отображаются основные параметры привода: частота (Гц и % от задания), ток двигателя и напряжение на двигателе.

Правая часть окна содержит область «Состояние», для удобства пользователя разделенную на отдельные биты. Наличие галочки возле соответствующего бита говорит о состоянии логической единицы в нем, ее отсутствие – о состоянии логического нуля.

Окно «Удаленное управление» можно использовать, только предварительно переведя ПЧВ в режим «ПУСК/ДИСТ» нажатием соответствующей кнопки на ЛПО.

6.7. Работа с меню «ПИД-регулирование».

Это меню позволяет быстро и эффективно настроить ПИ-регулятор ПЧВ. Помимо возможности определения основных параметров ПИ-регулирования из групп 1 и 7 меню включает графический модуль, наглядно отображающий величину задания и обратной связи в реальных единицах измерения, а также текущую частоту двигателя в Гц.

Параметры, определяемые в этом окне, отвечают за контур процесса регулирования (1-00), источник обратной связи (7-20) и коэффициенты ПИ-регулятора (пропорциональный 7-33 и интегральный 7-34).

Над графиком размещены кнопки ПУСК и ОСТАНОВ ВЫБЕГОМ для удаленного запуска и останова привода при его работе в режиме дистанционного управления.

Графический модуль позволяет осуществлять масштабирование графика, а также сохранение его в виде рисунка или вывод на печать.

6.8. Окно «Аналоговые входы и выходы».

Для большей наглядности задания параметров аналоговых входов и выхода ОВЕН ПЧВ 1.2 может быть использовано окно «Аналоговые входы и выходы» конфигуратора. В нем можно задать значения наиболее важных настроек группы параметров 6. Диапазоны сигналов тока или напряжения задаются в явном (числовом) формате и дополнительно отображаются в правой части экрана графически. Выбор режима работы осуществляется изменением положения указателя в поле. Выбор функции выхода доступен в форме выпадающего меню.

Кроме того, в режиме реального времени идет отображение текущих значений аналоговых входов и выходов. Вид окна представлен на рис. 5.17.

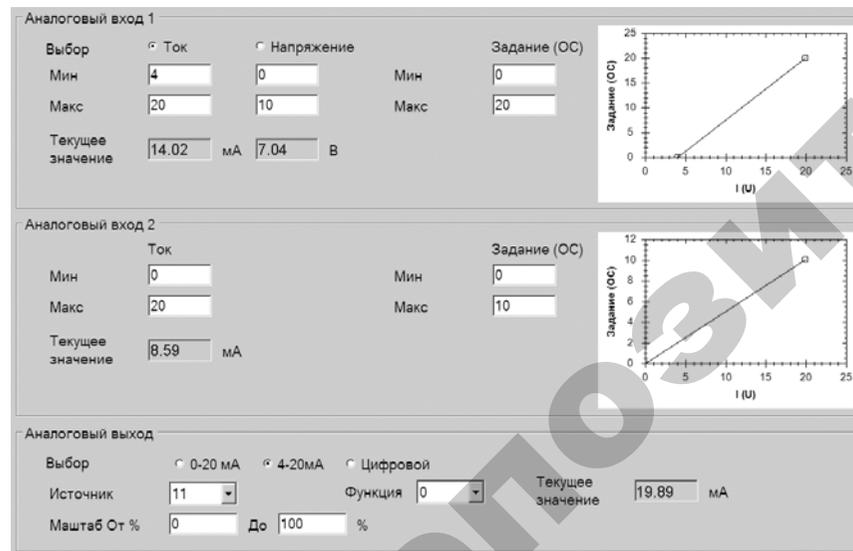


Рис. 5.17. Вид окна «Аналоговые входы и выходы»

После задания необходимых настроек нужно выбрать пункт меню «Записать параметры» или нажать на соответствующую кнопку в меню быстрого доступа.

6.9. Окно «Дискретные входы и выходы».

Данное окно предназначено для упрощенной настройки параметров дискретных входов и выхода ОВЕН ПЧВ. В нем задается основные значимые параметры группы 5 прибора. Вид окна представлен на рис. 5.18.

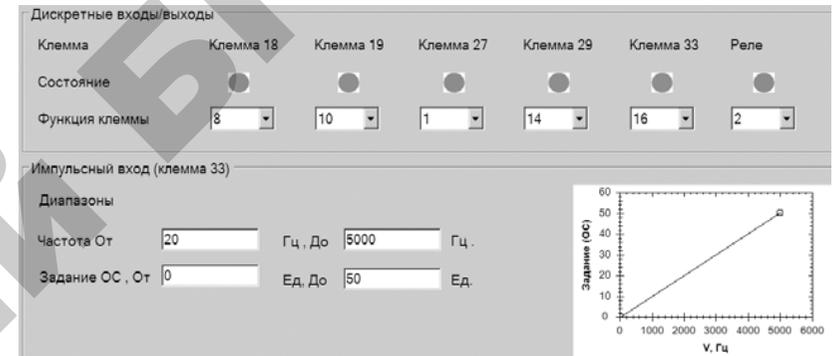


Рис. 5.18. Вид окна «Дискретные входы и выходы»

В верхней части окна размещены настройки дискретных входов ПЧВ. В строке «Функция клеммы» можно выбрать нужную функцию дискретного входа и выхода из выпадающего списка. Текущее состояние входов и реле отображается индикаторами строки «Состояние». Зеленый цвет индикатора соответствует замкнутому состоянию клеммы, а красный – разомкнутому.

В нижней части окна размещены настройки клеммы 33 при использовании ее в качестве импульсного входа. В поля для задания параметров можно ввести значения для диапазона частоты и задания (обратной связи) при получении сигналов с энкодера. В графическом поле слева отображаются результаты заданных настроек. После задания необходимых настроек нужно выбрать пункт меню «Записать параметры» или нажать на соответствующую кнопку в меню быстрого доступа.

6.10. Окно «Скалярное управление».

Окно «Скалярное управление» предназначено для задания настроек в случае вольт-частотного (скалярного) управления приводом. Одним из достоинств такого управления является возможность задания

собственной (пользовательской) вольт-частотной характеристики для двигателя. Упрощенный доступ к такому заданию настроек осуществляется с помощью данного окна.

Установка указателя «Включить скалярное управление» изменяет 1-01 «Принцип управления двигателем» на 0 (скалярное управление), снятие указателя возвращает значение 1 (векторное управление, режим по умолчанию). В полях U и f задаются шесть точек пользовательской вольт-частотной характеристики двигателя, которая отображается на графике ниже полей задания. Вид такого окна представлен на рис. 5.19.

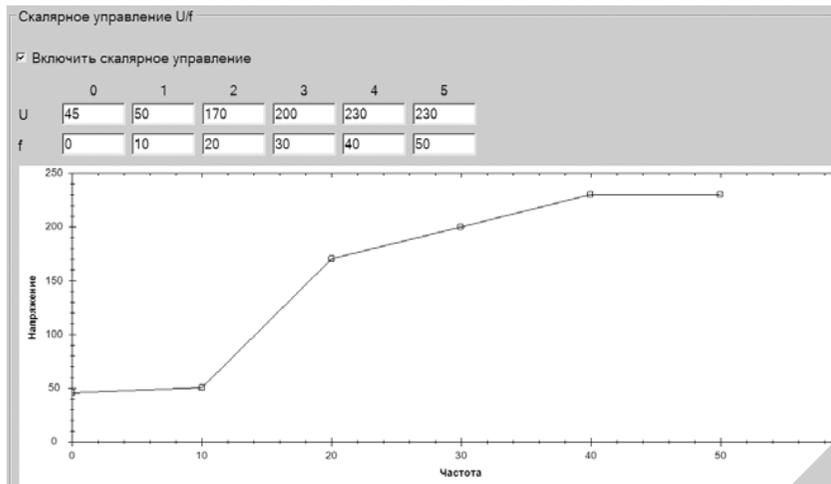


Рис. 5.19. Вид окна «Скалярное управление»

После задания необходимых настроек нужно выбрать пункт меню «Записать параметры» или нажать на соответствующую кнопку в меню быстрого доступа.

7. На основании результатов сделать выводы о проделанной работе.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Структурная схема преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока.
3. Описание структурной схемы преобразователя частоты.
4. Схемы подключения преобразователя частоты в различных конфигурациях (рис. 5.7–5.11).

Контрольные вопросы

1. Дайте определение термину «преобразователь частоты».
2. На какие два класса делятся преобразователи частоты?
3. Опишите структуру преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока.
4. Поясните, что означает термин «широотно-импульсная модуляция».
5. Опишите алгоритм быстрого запуска управления преобразователем частоты с локальной панели оператора (ЛПО).
6. Какими способами в рамках данной лабораторной работы возможно произвести управление преобразователем частоты?
7. Опишите методику установки параметров ПЧ для плавного разгона и торможения АД.
8. Опишите работу с меню удаленного управления ПЧ.
9. Какие преимущества имеет управление и программирование ПЧ с ПК?
10. В чем состоят достоинства и недостатки векторного управления по сравнению со скалярным?

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Цель занятия: исследовать реле времени.

Задачи занятия

1. Изучить принцип действия электромагнитных, пневматических, электронных и микропроцессорных реле времени.
2. Изучить конструкцию и принцип действия реле времени ВЛ-69.
3. Освоить способы настройки реле времени на заданную выдержку времени.
4. Произвести расчет погрешности срабатывания реле времени.
5. Исследовать работу реле времени при пониженном напряжении питания.

Теоретические сведения

Реле времени – это электрический аппарат, предназначенный для создания независимой выдержки времени и обеспечения определенной последовательности работы элементов схемы.

По принципу действия различают реле времени следующих видов:

- 1) электромагнитное постоянного тока;
- 2) пневматическое;
- 3) моторное;
- 4) электронное;
- 5) микропроцессорное.

Электромагнитное реле времени постоянного тока состоит из неподвижной части магнитопровода 2 (рис. 6.1) и подвижной части магнитной системы – якоря 6. На неподвижной части магнитопровода установлена катушка 1. Реле имеет неподвижные контакты 8 и подвижные 9, укрепленные на подвижной части.

Реле включается как обычное электромагнитное реле. При подаче напряжения на катушку якорь притягивается к сердечнику.

Выдержка времени обеспечивается медной гильзой 3 за счет замедления возврата якоря в исходное положение при отключении напряжения с катушки. Спадающий магнитный поток по закону Ленца создает в гильзе ЭДС и ток, направленный таким образом, чтобы поток, создаваемый гильзой, препятствовал уменьшению магнитного

потока в магнитопроводе. Замедленное уменьшение потока создает выдержку времени при отпуске якоря, т. е. якорь на некоторое время удерживается на сердечнике магнитопровода, а затем отрывается от него возвратной пружиной. Следовательно, происходит и переключение контактов реле с выдержкой времени.

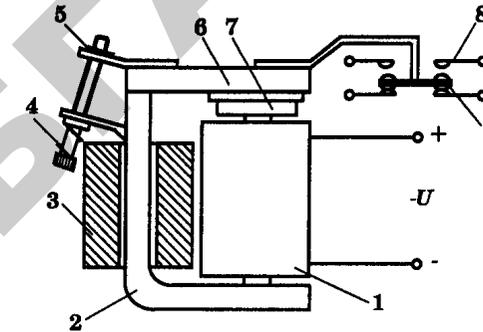


Рис. 6.1. Конструкция электромагнитного реле времени постоянного тока:
1 – катушка; 2 – магнитопровод; 3 – медная гильза; 4 – винт натяжения пружины;
5 – гайка; 6 – якорь; 7 – прокладка немагнитная; 8 – контакт;
9 – подвижный мостиковый контакт

Выдержка времени зависит от размеров гильзы, а также от толщины немагнитной прокладки 7, закрепленной на якоре (уменьшение толщины прокладки вызывает увеличение выдержки реле, и наоборот). Предусмотрена и плавная регулировка за счет изменения натяжения пружины с помощью гайки 5. Чем меньше затянута пружина, тем больше выдержка времени, и наоборот.

Пневматическое реле времени типа РВП 72 (рис. 6.2) состоит из электромагнита, пневматического демпфера (замедлителя) и микропереключателя. При подаче напряжения на катушку 3 якорь электромагнита 4, двигаясь по направляющим 2, втягивается внутрь катушки и освобождает хвостовик 5, связанный с диафрагмой 10. Нижняя полость 7 диафрагмы сообщается с атмосферой свободно, а верхняя полость 11 – через регулируемое отверстие (дроссель 14 и выпускной клапан 9). В связи с этим скорость перемещения хвостовика зависит от сечения дресселя, т. к. через него поступает воздух из воздушной камеры 12 в верхнюю полость диафрагмы.

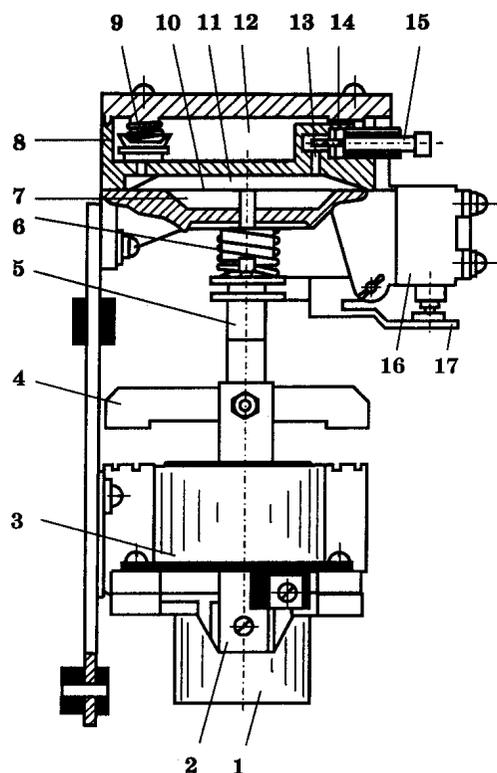


Рис. 6.2. Конструкция пневматического реле времени:

1, 2 – направляющие; 3 – катушка; 4 – якорь электромагнита; 5 – хвостовик; 6 – пружина; 7 – нижняя полость; 8 – корпус пневматической камеры; 9 – выпускной клапан; 10 – диафрагма; 11 – верхняя полость; 12 – воздушная камера; 13 – игла; 14 – дроссель; 15 – гайка; 16 – микропереключатель; 17 – рычаг

Сечение дросселя регулируется с помощью иглы 13 и гайки 15, причем чем больше сечение дросселя, тем меньше выдержка времени реле. Переключение контактов происходит в тот момент, когда хвостовик опускается в крайнее нижнее положение и рычагом 17 нажимает кнопку переключателя 16.

Пневматическое реле имеет низкую точность, большую массу и значительные габариты.

Моторное реле времени предназначено для отсчета времени от 10 с до нескольких часов. Оно состоит из синхронного двигателя,

редуктора, электромагнита для сцепления и расцепления двигателя с редуктором, контактов. В настоящее время в сельскохозяйственном производстве не применяется.

Электронные реле времени получили широкое распространение благодаря большому диапазону выдержек времени (от 0,1 с до 100 ч), высокой точности и малым габаритам. Простейшее электронное реле времени показано на рис. 6.3, а.

При замыкании контакта 1 напряжение на конденсаторе C растет по экспоненте с постоянной времени $T = RC$. Напряжение конденсатора U_c подается на пороговый элемент. При равенстве U_c пороговому напряжению U_n пороговый элемент срабатывает, выдержка времени t_{cp} прекращается, сигнал с порогового реле через усилитель подается на катушку выходного реле (на рис. 6.3 не показано). При замыкании контакта 2 начинается процесс разряда конденсатора на сопротивление R . Процесс разряда идет по экспоненте (кривой 2 на рис. 6.3, б). Когда U_c достигает значения ниже порогового, пороговый элемент прекращает выдавать сигнал, выходное реле обесточивается.

Выдержку времени регулируют за счет изменения сопротивления R или емкости конденсатора C . Максимальная выдержка времени таких реле – 10 с. При большей выдержке увеличивается погрешность реле. В таких простейших электронных реле времени ток заряда (разряда) вначале большой, потом уменьшается и стремится к нулю.

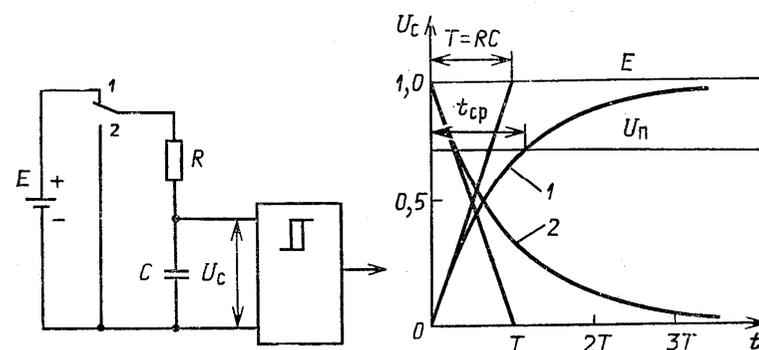


Рис. 6.3. Принципиальная схема простейшего электронного реле времени (а) и процессы заряда (разряда) конденсатора C (б)

Микропроцессорные (цифровые) реле времени. В таких реле выдержка времени осуществляется при помощи счетчика импульсов, на который подаются импульсы, вырабатываемые генератором.

На рис. 6.4 представлена структурная схема реле времени ВЛ-45, ВЛ-46, ВЛ-47.

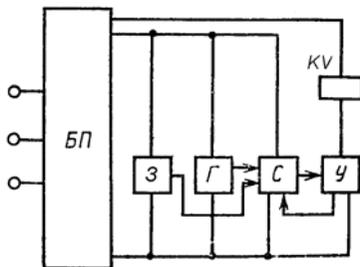


Рис. 6.4. Структурная схема микропроцессорного реле времени:
БП – блок питания; Г – генератор; С – счетчик;
З – блок установки исходного состояния; У – усилитель

При подаче напряжения на блок питания (БП) запускается генератор (Г), импульсы с которого подаются на счетчик (С). С помощью схемы установки исходного состояния (З) импульсы отсчитываются счетчиком до тех пор, пока их число не будет соответствовать уставке времени. После этого счетчиком выдается сигнал на усилитель (У), в рабочую цепь которого включено выходное реле KV. После срабатывания усилителя счетчик останавливается. После снятия входного сигнала с БП реле возвращается в исходное состояние.

Описанные выше реле серии ВЛ позволяют получать выдержки времени до 10 ч с погрешностью $\pm 5\%$. Коммутационная износостойкость составляет не менее $4 \cdot 10^6$ циклов.

Методика выполнения лабораторной работы

1. На основании общих сведений изучить принцип действия электромагнитных, пневматических, электронных и микропроцессорных реле времени.

2. Освоить способы настройки реле времени на заданную выдержку времени.

2.1. Собрать схему согласно рис. 6.5.

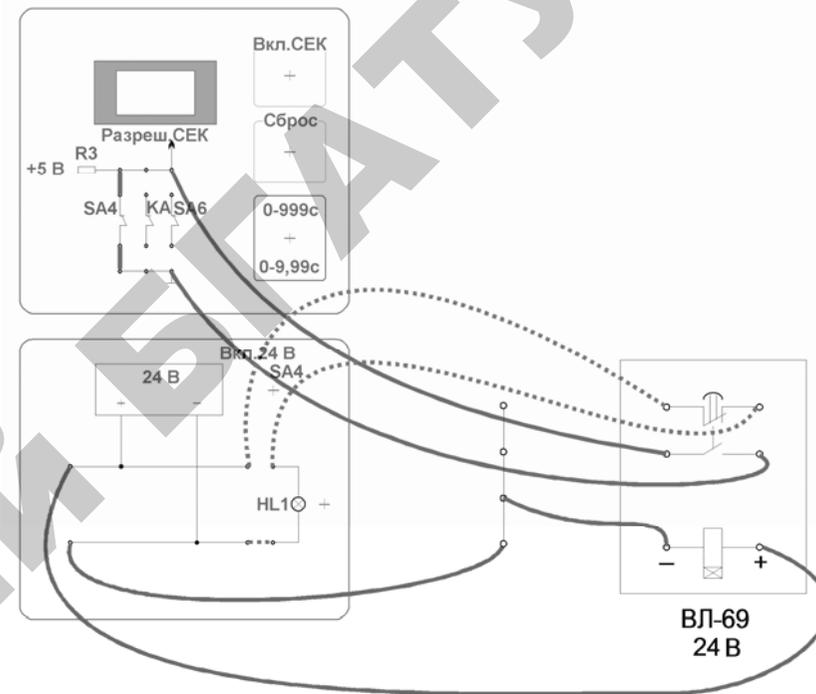


Рис. 6.5. Схема испытания реле времени

2.2. Включить стенд выключателем «Сеть».

2.3. Включить секундомер тумблером «Вкл. СЕК».

2.4. Произвести включение схемы тумблером SA4. Тумблер SA4 служит для одновременного запуска электронного секундомера и реле времени. Секундомер будет производить отсчет времени до момента срабатывания реле времени.

2.5. Занести показания секундомера в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Результаты исследования реле времени ВЛ-69

Параметр	№ опыта				
	1	2	3	4	5
Уставка времени $t_{уст}$, с					
Время срабатывания $t_{ср}$, с					
Погрешность срабатывания Δt , с					
Относительная погрешность $\Delta t_{\%}$, %					

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Принципиальная схема простейшего электронного реле времени.
4. Структурная схема микропроцессорного реле времени.
5. Схема испытания реле времени.
6. Таблицы с результатами исследования реле времени ВЛ-69.

Контрольные вопросы

1. Что такое время трогания электромагнита?
2. В чем заключается принцип магнитного демпфирования?
3. С какой целью магнитопровод реле времени изготовлен цельным из материала с малым удельным сопротивлением и малой коэрцитивной силой?
4. Каково назначение массивной гильзы?
5. Каким образом можно регулировать выдержку времени срабатывания реле времени?

2.6. Выключить тумблер SA4, обнулить показания секундомера и повторить опыт при различных уставках времени (задаются переключателями на лицевой панели реле времени ВЛ-69).

2.7. По окончании опытов выключить стенд выключателем «Сеть».

3. По полученным результатам измерений произвести расчет погрешности срабатывания реле времени и занести значения в табл. 6.2.

3.1. Абсолютную погрешность срабатывания реле времени определить по формуле

$$\Delta t = t_{уст} - t_{ср}. \quad (6.1)$$

3.2. Рассчитать относительную погрешность по формуле

$$\Delta t_{\%} = \frac{t_{ср}}{t_{уст}} 100 \%. \quad (6.2)$$

3.3. Определить среднюю относительную погрешность по формуле

$$\Delta t_{ср} = \frac{t_{ср}}{n}, \quad (6.3)$$

где n – число измерений.

4. Произвести измерения по п. 2.2–2.7 при пониженном напряжении питания катушки реле времени ВЛ. Расчет погрешностей срабатывания реле времени производится по формулам 6.1–6.3. Данные измерений и расчетов занести в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Результаты исследования реле времени ВЛ-69
при пониженном напряжении питания

Параметр	№ опыта				
	1	2	3	4	5
Уставка времени $t_{уст}$, с					
Время срабатывания $t_{ср}$, с					
Погрешность срабатывания Δt , с					
Относительная погрешность $\Delta t_{\%}$, %					

5. На основании проведенных исследований сделать выводы о погрешности срабатывания реле времени при номинальном и пониженном напряжении питания катушки реле времени ВЛ-69.

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ОТ СВЕРХТОКОВ

Цель занятия: исследовать аппараты защиты электрических цепей от сверхтоков.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с устройством плавких предохранителей и автоматических выключателей, размещенных на стендах.
2. Произвести исследование автоматического выключателя.
3. Построить защитную (времятоковую) характеристику теплового расцепителя автоматического выключателя.

Теоретические сведения

К электрическим аппаратам защиты электрических цепей от сверхтоков относятся предохранители и автоматические выключатели.

Предохранитель – это аппарат, который вследствие расплавления одного или нескольких специально спроектированных и рассчитанных элементов размыкает цепь, в которую он включен, отключая ток, превышающий заданное значение в течение определенного времени. Предохранитель является простейшим аппаратом токовой защиты с зависимой характеристикой выдержки времени.

По принципу действия различают:

- 1) плавкие предохранители;
- 2) жидкометаллические самовосстанавливающиеся предохранители;
- 3) приборные самовосстанавливающиеся предохранители;
- 4) термopредохранители;
- 5) электронные предохранители.

Наиболее широко применяются плавкие предохранители. Существует большое число различных их конструкций. В любой конструкции можно выделить следующие части:

– *плавкая вставка* – часть плавкого предохранителя, включающая в себя плавкий элемент, закрепленный в корпусе, контактные выводы и, в некоторых конструкциях, боек;

– *плавкий элемент* – часть плавкой вставки, предназначенная для расплавления при срабатывании плавкого предохранителя;

– *контакт плавкого предохранителя* – две или несколько токоведущих частей, предназначенных для обеспечения непрерывности цепи между контактными выводами плавкой вставки и соответствующим держателем;

– *основание плавкого предохранителя* – несъемная часть плавкого предохранителя, снабженная держателем плавкого предохранителя, выводами и, при необходимости, оболочками;

– *вывод* – токоведущая часть плавкого предохранителя, предназначенная для электрического присоединения к внешним электрическим цепям;

– *указатель срабатывания (индикатор)* – устройство, предназначенное для индикации срабатывания плавкого предохранителя. Его может не быть в составе плавкого предохранителя;

– *бойк* – механическое устройство, составляющее часть плавкой вставки, которое при срабатывании плавкого предохранителя освобождает энергию пружины, необходимую для срабатывания контактного узла или указателя срабатывания.

На время срабатывания плавкой вставки влияет ток, температура окружающей среды, условия отвода тепла от контактов предохранителя, температура плавкого элемента до момента возникновения перегрузки, естественный износ (старение) плавкого элемента.

Времятоковая характеристика $t = f(I)$ плавкого предохранителя показывает зависимость времени срабатывания от тока. Учитывая технологический разброс параметров предохранителя и его разное время срабатывания из холодного и горячего состояний, времятоковые характеристики предохранителя обычно задают в виде двух линий.

Характеристика токоограничения, или пропускаемого тока, плавкого предохранителя показывает зависимость пропускаемого тока короткого замыкания ($KЗ$) от ожидаемого тока $KЗ$.

Ожидаемым током $KЗ$ называется ток, который проходил бы по цепи, если бы включенный в нее плавкий предохранитель был заменен проводником, полным сопротивлением которого можно пренебречь.

Под *пропускаемым током $KЗ$* понимается максимальное мгновенное значение, достигаемое током в процессе отключения.

Если пропускаемый предохранителем ток равен ожидаемому току КЗ, то предохранитель не обеспечивает токоограничения. Если же пропускаемый предохранителем ток меньше ожидаемого тока КЗ, то предохранитель обеспечивает токоограничение. В обеспечении токоограничения состоит существенное достоинство плавких предохранителей.

Достоинства плавких предохранителей следующие:

- 1) высокая отключающая способность;
- 2) ограничение тока КЗ;
- 3) простота конструкции;
- 4) небольшая стоимость.

Предохранители имеют следующие *недостатки*:

- 1) плавкие элементы с течением времени стареют (исключение – плавкие элементы из серебра), вследствие чего они ложно срабатывают при пусковых токах или кратковременных перегрузках;
- 2) плавкие вставки имеют значительный разброс времени срабатывания в зависимости от состояния (холодного или горячего) плавкого элемента;
- 3) плавкая вставка однократного действия, поэтому после срабатывания ее необходимо заменять;
- 4) плавкие предохранители не защищают электрооборудование при незначительных перегрузках. Они надежно срабатывают только при трехкратных (и более) перегрузках по току;
- 5) плавкие предохранители не рекомендуются для защиты силовых цепей асинхронных электродвигателей. Это связано с тем, что при возникновении однофазного КЗ плавкая вставка перегорает в одной фазе и возникает опасный для трехфазного электродвигателя неполнофазный режим работы.

Автоматический выключатель – коммутационный аппарат, способный включать, проводить и отключать токи при нормальных условиях в цепи, включать и проводить токи в течение определенного промежутка времени и прерывать их при определенных аномальных условиях в цепи, например при коротких замыканиях или перегрузках.

Автоматические воздушные выключатели, как правило, управляются вручную, но могут иметь дистанционное управление. Они отключают электрическую цепь автоматически с помощью расцепителей при возникновении сверхтока или при других аварийных

режимах в цепи. Коммутация цепи происходит между подвижным и неподвижным контактами. Упрощенно можно считать, что автоматические выключатели объединяют функции рубильника (или контактора при дистанционном включении) и реле защиты. Роль последнего выполняют расцепители. Воздушными автоматы называют потому, что их контакты замыкаются и размыкаются в воздухе при атмосферном давлении.

Конструкции, характеристики и защитные функции автоматических выключателей разнообразны, однако, независимо от конструкции, автоматические выключатели имеют следующие *основные элементы*:

- *контактная система* обеспечивает надежное протекание тока между контактами;
- *дуогасительная система* обеспечивает гашение дуги в ограниченном объеме;
- *ручной привод* позволяет включать и отключать автоматические выключатели вручную. С помощью электромагнитного или электродвигательного привода автоматические выключатели на большие токи включаются дистанционно;
- *механизм передачи усилия от привода к контактам* содержит систему скачкообразного замыкания контактов при включении независимо от скорости перемещения рукоятки;
- *расцепители* автоматических выключателей контролируют заданный параметр защищаемой цепи и, воздействуя на механизм расцепления, отключают выключатель при отклонении параметра от установленного значения;
- *вспомогательные слаботочные контакты* автоматических выключателей служат для переключения в цепях управления, блокировки и сигнализации.

Автоматические выключатели по конструкции делятся на 3 группы:

- 1) все полюса расположены в одном блоке (корпусе), обеспечивается однократный разрыв электрической цепи (АЕ2000, А3700, ВА51-25);
- 2) все полюса расположены в одном блоке (корпусе), обеспечивается двойной разрыв электрической цепи. Такие аппараты, как ВА13, ВА21, АК50Б, АК63-МГ, содержат электромагнитный расцепитель с гидравлическим замедлением срабатывания или только электромагнитный расцепитель;

3) каждый полюс расположен в своем корпусе (модуле). Такую конструкцию имеют современные автоматические выключатели серий ВА14, ВА16, ВА22, ВА47, ВМ40, ВА61F29, ВА77. Их отличительные черты:

- крепление на монтажной рейке (DIN-рейке);
- модульность, т. е. двух-, трех- и четырехполюсные выключатели состоят из соответствующего числа одиночных однополюсных выключателей (модулей).

Расцепители автоматических выключателей определяют их характеристики и функциональные возможности.

В автоматических выключателях применяются следующие расцепители:

- 1) электромагнитный максимального тока (предназначен для защиты проводников и электрооборудования от токов КЗ);
- 2) электромагнитный максимального тока с гидравлическим замедлением срабатывания (обеспечивает зависимость от тока выдержку времени – защищает от токов перегрузки и КЗ);
- 3) электронный (применяется для защиты электрических цепей от перегрузки и токов КЗ). Главные его преимущества состоят в широких диапазонах регулирования токов и времени срабатывания, а также в более тонкой и точной регулировке;
- 4) тепловой (предназначен для защиты электрической цепи от токов перегрузок). По конструкции и принципу действия аналогичен тепловым реле;
- 5) комбинированный (максимального тока и тепловой);
- 6) минимального напряжения;
- 7) независимый;
- 8) электромагнитный максимального тока в нулевом проводе;
- 9) электромагнитный максимального тока для цепей управления.

Первые 5 типов расцепителей автоматических выключателей основные, остальные – дополнительные.

Методика выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с устройством плавких предохранителей и автоматических выключателей, размещенных на стендах. Найти основные элементы предохранителей и автоматических выключателей, зарисовать эскиз плавкой ставки предохранителя.

2. Произвести исследование автоматического выключателя.

2.1. Собрать схему стенда, показанную на рисунке. При этом в блоке схемы с секундомером (на рисунке не показан) замкнуть цепь «+5 В» – «земля» – через контакт переключателя SA6.

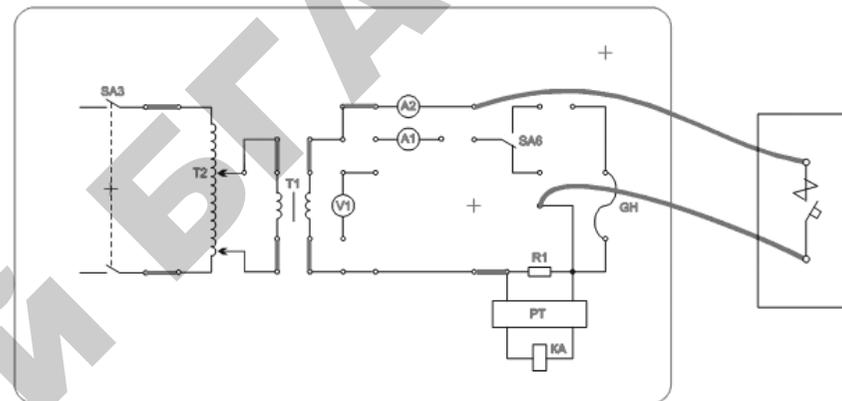


Рис. Схема стенда для испытания теплового расцепителя автоматического выключателя

2.2. С целью получения более точных данных вначале необходимо «прогреть» исследуемый выключатель. Для этого установить переключатель ЛАТРа Т2 «точная регулировка» в положение «10 В», а переключатель ЛАТРа Т2 «грубая регулировка» – в положение «150 В».

2.3. Включить испытуемый автоматический выключатель, перевести предел измерения амперметра А2 на 5 А.

2.4. Включить тумблер «Сеть», затем тумблер SA3. По токоведущей цепи автоматического выключателя потечет ток. В данном опыте показания секундомера РТ снимать не требуется.

2.5. В момент срабатывания автоматического выключателя засечь 5 мин на переносном секундомере. За это время перевести переключатель ЛАТРа Т2 «грубая регулировка» в положение «210 В» и обнулить секундомер РТ.

2.6. По истечении 5 мин согласно переносному секундомеру (п. 2.5) включить автоматический выключатель и снять показания амперметра А2, учитывая предел измерения прибора. Полученное значение I_{cp} занести в таблицу.

Таблица

Результаты испытания автоматического выключателя

Опыт	Ток испытания I_{cp} , А					
	Время срабатывания t_{cp} , с					
Расчет	Кратность тока срабатывания					
	$K = I_{cp} / I_{н. расц}$					

2.7. В момент срабатывания автоматического выключателя засечь 5 мин на переносном секундомере, при этом записать в таблицу время срабатывания автоматического выключателя t_{cp} по данным секундомера РТ, перевести переключатель ЛАТРа Т2 «грубая регулировка» в положение «180 В» и обнулить секундомер РТ.

2.8. По истечении 5 мин согласно переносному секундомеру (п. 2.7) включить автоматический выключатель и снять показания амперметра А2, учитывая предел измерения прибора.

2.9. Повторить п. 2.7 и 2.8 для значений переключателя ЛАТРа Т2 «грубая регулировка» 150 В, 120 В, 90 В. Результаты измерений занести в таблицу.

2.10. Найти на корпусе испытуемого автоматического выключателя надпись, указывающую на номинальный ток теплового расцепителя. Зная номинальный ток $I_{н. расц}$, определить кратность тока срабатывания автоматического выключателя K , результаты расчетов занести в таблицу.

3. На основании данных таблицы построить защитные (время-токовые) характеристики теплового расцепителя автоматического выключателя $t_{cp} = f(I_{cp})$, $t_{cp} = f(K)$.

4. Исходя из результатов опытов сделать вывод о влиянии величины тока на время срабатывания автоматического выключателя.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Эскизы плавкого элемента.
4. Таблица с результатами испытания автоматического выключателя.
5. Графические зависимости: $t_{cp} = f(I_{cp})$; $t_{cp} = f(K)$.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте защитную характеристику плавкого предохранителя и автоматического воздушного выключателя на одном графике.
2. Какие аппараты и приборы необходимы для проведения испытаний плавкого предохранителя и автоматического воздушного выключателя? Нарисуйте принципиальную электрическую схему испытаний плавкого предохранителя.
3. По каким параметрам выбирают плавкие предохранители?
4. По каким параметрам выбирают автоматические воздушные выключатели?
5. Какие аппараты применяют для защиты полупроводниковых приборов? В чем их особенность?
6. При каких условиях обеспечивается защита от токов короткого замыкания полупроводниковых приборов?
7. Объясните принцип гашения дуги в предохранителе ПР-2.
8. Какими параметрами характеризуются плавкие предохранители?
9. Какую особенность имеют автоматические выключатели АК-63М и АК-50М?
10. От каких параметров зависит время срабатывания плавкого предохранителя?
11. Объясните эффект токоограничения в плавком предохранителе.
12. Укажите не менее пяти расцепителей, используемых в автоматических выключателях.

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Цель занятия: исследовать аппараты защиты электрических цепей от импульсных и ременных перенапряжений.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с устройством ограничителей импульсных перенапряжений по макету. Определить их основные части.
2. Изучить описание лабораторного стенда с устройствами защиты от импульсных перенапряжений.
3. Проверить исправность ограничителя импульсных перенапряжений мегомметром.
4. Снять вольтамперную характеристику варистора, применяемого в ограничителе импульсных перенапряжений ОПС1.
5. На стенде проверить работу ограничителей импульсных перенапряжений ОПС1.
6. Изучить описание лабораторного стенда с устройствами защиты от временных перенапряжений.
7. Собрать схему электронного ограничителя перенапряжений ЭОН-1 и провести его испытания.
8. Собрать схему электронного выключателя нагрузки при временных перенапряжениях А2 и провести его испытания.

Теоретические сведения

Перенапряжением в электротехническом устройстве называется напряжение между двумя точками этого устройства, значение которого превышает наибольшее рабочее значение напряжения.

Перенапряжения опасны тем, что могут привести к электрическому пробое изоляции и возникновению тока короткого замыкания (КЗ).

Перенапряжения делятся на 2 группы: импульсные и временные.

Импульсное перенапряжение – резкое увеличение напряжения в точке электрической сети, вслед за которым напряжение восстанавливается до первоначального или близкого к нему уровня. Импульсные перенапряжения кратковременны (до 5 мс).

Временное перенапряжение – напряжение в электрической сети свыше 110 % номинального напряжения продолжительностью

более 10 мс, возникающее в системах электроснабжения при коммутации или коротких замыканиях.

Импульсные перенапряжения делятся на внешние и внутренние в зависимости от места возникновения (по отношению к электроустановке).

Внешние перенапряжения чаще всего возникают от действия высоковольтного атмосферного разряда во внешних цепях (по отношению к электроустановке). Этот разряд оказывает прямое или не прямое воздействие.

Прямое воздействие наблюдается при прямом ударе молнии в электроустановку. При этом возникают кратковременные токи и перенапряжения с высокими значениями (десятки или сотни кА) на проводящих элементах электроустановки. Защита от прямого удара молнии осуществляется с помощью молниеотводов.

Непрямое воздействие молнии встречается наиболее часто. Оно проявляется в следующих случаях:

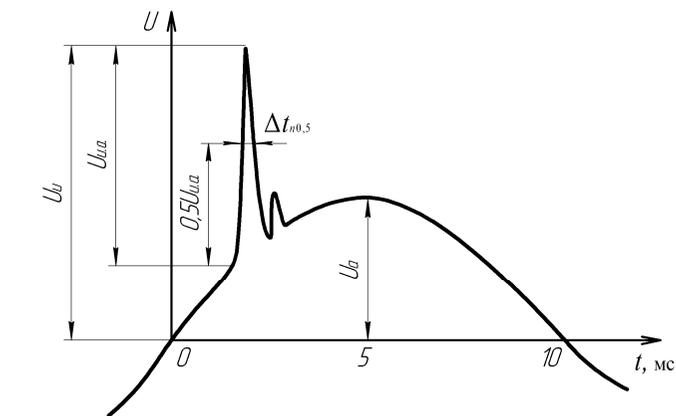
1) при ударе молнии в линию электропередач, от которой получает питание электроустановка. Вследствие этого перенапряжение достигает нескольких десятков тысяч вольт, а значение тока – нескольких тысяч ампер. Грозовой разряд носит характер бегущей волны с большой крутизной, временем возрастания от нуля до максимума за 1–8 мкс и длительностью до 350 мкс. Перенапряжение переносится по линии электропередач к потребителям;

2) при ударе молнии внутри облака или между облаками, в деревья или другие предметы. Вследствие электромагнитного излучения индуцируются перенапряжения в проводах наружных и внутренних цепей;

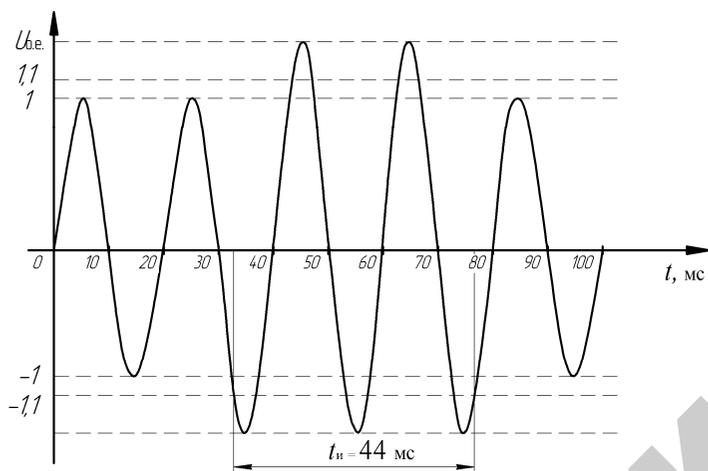
3) при ударе молнии в землю вблизи заземления или заземляющего контура. Возникает скачок напряжения на заземляющем проводнике, проникающий в электроустановку через ее заземление.

На рис. 8.1 изображены формы кривых импульсного и временного перенапряжений. Наибольшую опасность для электроустановок представляют импульсные перенапряжения.

В сетях напряжением 0,4 кВ могут быть грозовые импульсные напряжения величиной до 10 кВ в воздушной линии питания и до 6 кВ во внутренней проводке зданий и сооружений. Следует также отметить, что вероятность появления молнии с амплитудой 65 кА составляет примерно 8 %, а с амплитудой 100 кА – 2 %.



а



б

Рис. 8.1. Импульсное (а) и временное (б) перенапряжения

Внешние коммутационные импульсы перенапряжения могут появляться в результате:

- переключений в мощных системах энергоснабжения (например, при коммутациях конденсаторных батарей);
- переключений в системах электроснабжения в непосредственной близости от электроустановок зданий или изменений нагрузки в электрических распределительных системах;

- резонансных колебаний напряжения в электрических сетях, обусловленных работой таких переключающих приборов, как тиристоры;
- повреждений в системах (например, при КЗ на землю и дуговых разрядах в электрических установках).

В сети напряжением 0,4 кВ могут быть коммутационные импульсные перенапряжения с амплитудой до 4,5 кВ.

Внутренние коммутационные импульсы перенапряжения возникают внутри электроустановок при коммутации емкостей, индуктивностей (трансформаторов, дросселей), тиристоров из-за наличия в них накопленного заряда не основных носителей, при мгновенных изменениях тока в цепи.

Выполнять основную изоляцию электрооборудования на уровне перенапряжения экономически невыгодно. Изоляцию надо защищать от возникающих перенапряжений. Для этого служат средства защиты, которые ограничивают перенапряжения до допустимых для изоляции значений.

Методика выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с устройством варисторного ограничителя импульсных перенапряжений ОПС1, размещенного на макете. Найти варистор, проследить его соединение с подключаемыми клеммами, найти визуальный индикатор износа варистора и обсудить между собой принцип его действия.

2. Изучить описание лабораторного стенда с устройствами защиты от импульсных перенапряжений.

На панели стенда размещены аппараты и приборы, с помощью которых собрана схема стенда (рис. 8.2).

На стенде имитируется трехфазная система TN–С–S. PEN-проводник при входе в вводно-распределительное устройство (ВРУ) разделяется на проводник N, изолированный от корпуса ВРУ, и проводник PE, связанный с корпусом ВРУ и с корпусами других электрических приемников. В ВРУ проводник PE соединяется с главной заземляющей шиной (ГЗШ).

Ограничители импульсных перенапряжений **класса В** устанавливаются в ВРУ между фазами (L1, L2, L3) и проводником PE.

Ограничители импульсных перенапряжений **класса С** устанавливаются в распределительном щите (РЩ) и включаются между проводниками L1, L2, L3, N и проводником PE.

Ограничители импульсных перенапряжений **класса Д** устанавливаются в низковольтном комплектном устройстве (НКУ). Для однофазной нагрузки их устанавливается два: между фазой и РЕ-проводником; между проводниками N и РЕ. Для трехфазной нагрузки устанавливается 4 ограничителя перенапряжений подобно ограничителям класса С (см. выше).

Между ВРУ и РЩ, а также между РЩ и НКУ должно быть не менее 10–15 м кабеля. Их индуктивное сопротивление имитируется на стенде индуктивностями L1–L4 и L5–L8.

В левой части рис. 8.2 изображен блок Б, имитирующий возникновение импульсных перенапряжений в действующей установке. Для этой цели служит генератор испытательных импульсов G, который получает питание от сети через автоматический выключатель QF6 и выключатель SA3. Включается генератор G кнопкой SB6 (кратковременно).

С помощью осциллографа с делителем напряжения 1:20 вход осциллографа связывается с розетками XS1–XS5 сети (до и после ограничителей FU1–FU5). Измерение напряжения производится осциллографом N.

Чтобы не подвергать электрическую сеть здания испытательному перенапряжению от генератора G, стенд получает питание по упрощенной схеме от однофазного разделительного трансформатора TV1. Трансформатор TV4 формирует импульсы перенапряжений.

Для снятия вольтамперных характеристик ограничителей импульсных перенапряжений используют блок А (рис. 8.2). Он включается в сеть выключателем SA1. Блок А имеет автотрансформатор TV2, трансформатор TV3, выпрямитель UZ, конденсатор С, миллиамперметр PA1 и вольтметр PV1, переключатель SA2 и испытуемый ограничитель импульсных перенапряжений FU5.

3. Проверить исправность ограничителя импульсных перенапряжений FU5.

3.1. По визуальному индикатору проверяется степень износа (если индикатор затемнен более чем на 3/4, то его необходимо заменить).

3.2. Клеммы мегомметра на 1000 В присоединяются к клеммам ограничителя импульсных перенапряжений (FU5 на рис. 8.2).

3.3. Переключатель SA3 устанавливается в среднее положение.

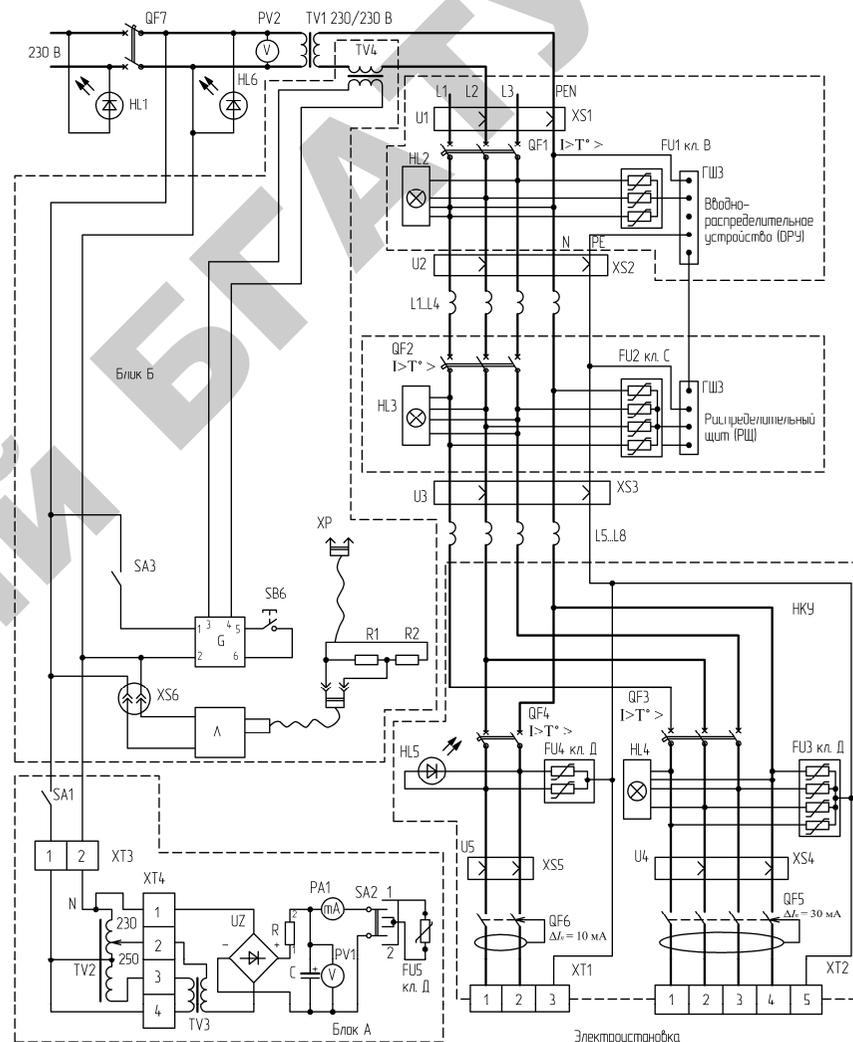


Рис. 8.2. Принципиальная электрическая схема стенда, поясняющая размещение ограничителей импульсных перенапряжений во внутренних сетях 0,4 кВ и их испытание: А – осциллограф; G – генератор импульсов

3.4. Мегомметром измеряется сопротивление ограничителя FU5. Оно должно быть в диапазоне 0,1...2 МОм. Если сопротивление ограничителя находится вне указанного диапазона, ограничитель должен быть заменен.

4. Снять вольтамперную характеристику варистора, применяемого в ограничителе импульсных перенапряжений ОПС1. При этом используется блок А стенда.

4.1. Установить ползунок автотрансформатора TV2 в крайнее левое положение (наименьшего напряжения).

4.2. Включить SA1, а SA2 установить в положение 1.

4.3. Постепенно повышая напряжение автотрансформатора TV2, записать значения постоянного тока I (мА) и напряжения U (В). Ток увеличивать до 7 мА (во избежание выхода из строя варистора вследствие тепловой перегрузки). Рекомендуемые значения напряжения приведены в табл. 8.1. Результаты измерений записать в табл. 8.1.

4.4. Постепенно снижая напряжение автотрансформатора TV2, записать значения постоянного тока I (мА) и напряжения U (В). Напряжение снижать до 450 В. Результаты измерений записать в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Результаты опытного определения вольтамперной характеристики ограничителя импульсных перенапряжений ОПС1-D на постоянном токе

Параметр	Увеличение напряжения U до значения							
Положительная ветвь характеристики (SA2 в положении 1)								
U , В	450	500	510	520	530	540	545	550
I , мА								
Отрицательная ветвь характеристики (SA2 в положении 2)								
U , В	450	500	510	520	530	540	545	550
I , мА								
Параметр	Уменьшение напряжения U до значения							
Положительная ветвь характеристики (SA2 в положении 1)								
U , В	550	545	540	530	520	510	500	450
I , мА								
Отрицательная ветвь характеристики (SA2 в положении 2)								
U , В	550	545	540	530	520	510	500	450
I , мА								

5. Проверку действия ограничителей импульсных перенапряжений ОПС1, собранных на стенде в схему сети 0,4 кВ, производить с помощью блока Б.

5.1. Включить SA3. При этом напряжение подается на генератор G испытательного напряжения и на осциллограф. Автоматические выключатели QF1–QF5 должны быть отключены.

5.2. Вход осциллографа подключить к розетке XS1. Тем самым подается напряжение от трансформатора TV1 на вход осциллографа. На экране осциллографа будет наблюдаться синусоидально изменяющаяся кривая. Измерить данное напряжение U_{1xx} и записать это значение в табл. 8.2.

5.3. Нажать кнопку SB6 кратковременно, до 5 с. Тем самым включается генератор. На осциллографе будет наблюдаться синусоида с импульсами перенапряжений. Измерить импульсы перенапряжений $U1$ по осциллографу и записать их значения в табл. 8.2.

5.4. Вход осциллографа подключить к розетке XS2. Включить автоматический выключатель QF1. Тем самым в сеть включается ограничитель импульсных перенапряжений FU1 класса В. Нажать кнопку SB6. При этом будет наблюдаться синусоидальное напряжение с импульсами перенапряжений уменьшенной амплитуды. Измерить перенапряжения $U2$ и записать их значения в табл. 8.2.

5.5. Вход осциллографа подключить к розетке XS3. Включить автоматический выключатель QF2. Тем самым в сеть включается ограничитель импульсных перенапряжений FU2 класса Д. Нажать кнопку SB6. При этом будет наблюдаться синусоидальное напряжение с импульсами перенапряжений уменьшенной амплитуды. Измерить перенапряжения $U3$ и записать их значения в табл. 8.2.

5.6. Вход осциллографа подключить к розетке XS4. Включить автоматический выключатель QF3. При этом в сеть включаются ограничители импульсных перенапряжений FU3 класса Д. Кратковременно нажать кнопку SB6. При этом будет наблюдаться синусоидальное напряжение с импульсами перенапряжений уменьшенной амплитуды. Измерить перенапряжения $U4$ и результаты записать в табл. 8.2.

5.7. Вход осциллографа подключить к розетке XS5, включить QF4, кратковременно нажать кнопку SB6. Измерить перенапряжения $U5$. Результаты измерений записать в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Результаты измерения импульсного перенапряжения в линии

Контрольные точки	XS1		XS2	XS3	XS4	XS5
	Импульсное перенапряжение	U_{1xx}	U_1	U_2	U_3	U_4

6. Изучить описание лабораторного стенда с устройствами защиты от временных перенапряжений.

На стойке лабораторного стола закреплен электронный ограничитель напряжения ЭОН-1, а также устройство, отключающее нагрузку при временных перенапряжениях. На соседнем столе установлен автотрансформатор. Для измерения напряжения используется переносной цифровой прибор.

Электронный ограничитель напряжения ЭОН-1 предназначен для ограничения временных напряжений в сельскохозяйственных осветительных установках с лампами накаливания производственного назначения с регулярными временными перенапряжениями. В основу работы ограничителя заложен принцип фазового регулирования, заключающийся в изменении длительности прохождения тока по нагрузке в каждый полупериод напряжения сети в зависимости от фазы импульсов управления, подаваемых на тиристоры. Фаза импульсов зависит от величины напряжения сети.

Напряжение на нагрузке коммутируют силовые элементы – тиристоры VS1 и VS2, включение которых через трансформатор TV1 осуществляет схема управления (рис. 8.3).

Схема работает следующим образом. В начале каждого полупериода тиристоры закрыты, напряжение сети приложено к ним. Это напряжение выпрямляется диодным мостом VD1–VD4 и через ограничивающие тиристоры-резисторы R1–R4 подается на стабилизаторы VD5 и VD6, формирующие импульс опорного напряжения. Конденсатор C3 через резистор R5 начинает заряжаться, вследствие чего на эмиттере однопереходного транзистора VT1 напряжение плавно нарастает от нуля до напряжения отпирания VT1, величину которого определяет междуазовое напряжение, формируемое цепью обратной связи.

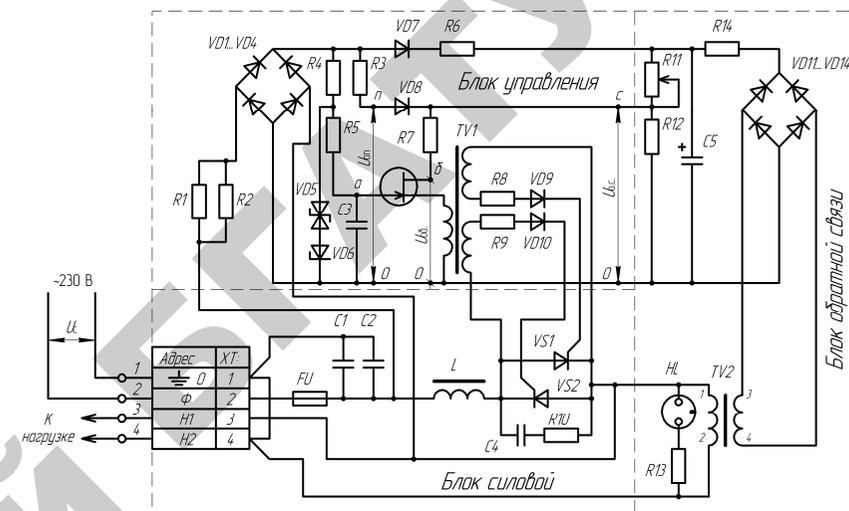


Рис. 8.3. Принципиальная электрическая схема ЭОН-1

Цепь обратной связи содержит разделительный трансформатор TV2, подключенный параллельно нагрузке, выпрямительный мост на диодах VD11–VD14, сглаживающий фильтр R14, C5 и делитель напряжения на резисторах R11 и R12, с выхода которого на VT1 подается междуазовое напряжение.

Для улучшения стабилизирующих свойств схемы на вход делителя через диод VD7 и резистор R6 дополнительно подается напряжение, пропорциональное напряжению сети.

При отпирании тиристора VT1 конденсатор разряжается на первичную обмотку трансформатора TV1, в результате чего в его вторичных обмотках возникают импульсы, подающие напряжение на управляющие электроды тиристоров. Открывается тот тиристор, к которому приложено прямое напряжение.

Стабилизация напряжения на нагрузке происходит следующим образом. При увеличении напряжения на нагрузке сверх установленного значения (с помощью резистора R11) соответственно увеличивается междуазовое напряжение VT1, что приводит к увеличению времени заряда конденсатора C3 до напряжения отпирания VT1 и к смещению момента возникновения импульсов управления в сторону уменьшения интервала включенного состояния тиристора. При этом величина действующего значения напряжения на нагрузке восстанавливается.

Диод VD8 служит для автоматического включения схемы при подаче напряжения сети. Цепь R10, C4 включена параллельно тиристорам и предназначена для ограничения коммутационных напряжений.

Лампа LH1 сигнализирует о наличии напряжения на нагрузке.

Фильтр, состоящий из конденсаторов C1, C2 и дросселя L1, служит для ограничения радиопомех.

Максимальный ток нагрузки ЭОН-1 – 15 А. Эффективное значение напряжения на нагрузке при повышении напряжения сети составляет до 25 % относительно номинального, степень защиты – IP22.

Схема электронного выключателя нагрузки при временных перенапряжениях приведена на рис. 8.4.

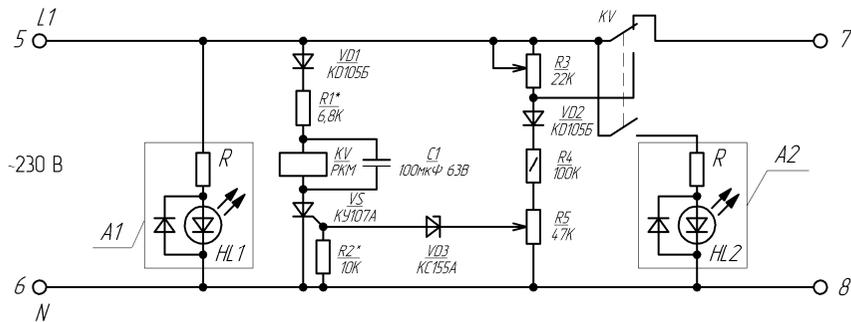


Рис. 8.4. Принципиальная электрическая схема электронного выключателя нагрузки при временных перенапряжениях

Схема сравнения выполнена на двух цепях, в которые включены диоды VD1 и VD2. Положительные полуволны сетевого напряжения, выпрямленные диодом VD1, через резистор R1 и обмотку реле KV поступают на анод тиристора VS. Выпрямленные диодом VD2 положительные полуволны напряжения через резисторы R3 и R4 поступают на R5 и через стабилитрон VD3 – на управляющий переход тиристора VS и на резистор R2.

Если напряжение сети не превышает норму, то напряжение на движке резистора R5 оказывается недостаточным для открытия стабилитрона и тиристора. В это время сетевое напряжение через контакт KV поступает непосредственно к нагрузке.

В случае превышения напряжением сети заранее установленного значения напряжения на движке резистора R5 оно окажется

достаточным для открытия стабилитрона и тиристора. При этом срабатывает реле и контактом KV отключает нагрузку от сети, а контактом KV включает блок сигнализации A2. Одновременно срабатывание контакта KV вызывает изменение сопротивления R3 скачком. Это сделано для того, чтобы устройство приняло исходное состояние при меньшем сетевом напряжении, чем то, при котором оно сработало. Тем самым исключается его неустойчивая работа при напряжении, близком к пороговому значению.

Когда сетевое напряжение снова окажется в норме, тиристор тут же закроется, реле отключится и своим контактом подключит нагрузку к сети.

Устройство имеет в своем составе блок A1 индикации напряжения сети и блок A2 индикации отключения питания потребителя.

7. Собрать схему электронного ограничителя перенапряжений ЭОН-1 и провести его испытания.

7.1. Соберите схему для испытания ЭОН-1 (устройство A1) согласно рис. 8.5. К клеммам 3–4 подключить выход A1, а напряжение от TV подать на зажимы 1–2 ЭОН-1 (на клемму 2 – нулевой проводник). Схема с нагрузкой мощностью 200 Вт уже собрана.

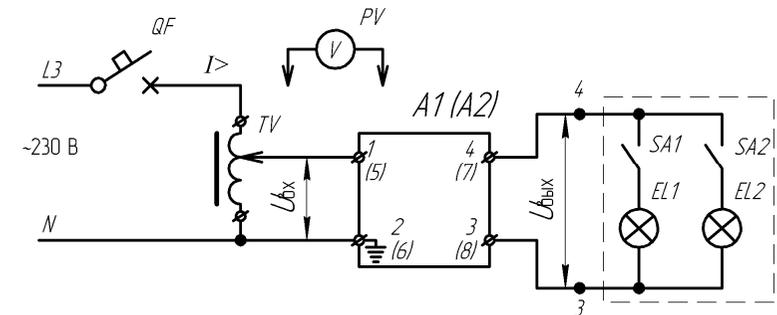


Рис. 8.5. Принципиальная электрическая схема испытаний электронного ограничителя ЭОН-1 (устройство A1) и электронного выключателя нагрузки (устройство A2) при временных перенапряжениях (в скобках указаны зажимы ЭОН-1, а без скобок – зажимы электронного выключателя нагрузки)

7.2. Включить SA1.

7.3. Изменяя напряжение на входе от 165 до 240 В и обратно с помощью автотрансформатора, измерить напряжение на выходе и на нагрузке. Данные опытов записать в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Результаты испытания ЭОН-1 (устройство А1) и выключателя нагрузки (устройство А2) при временных перенапряжениях при увеличении и уменьшении входного напряжения

$U_{\text{вх}}, \text{В}$	$U_{\text{вых}} (\text{В})$ устройства		$U_{\text{вх}}, \text{В}$	$U_{\text{вых}} (\text{В})$ устройства	
	А1	А2		А1	А2
165			240		
180			220		
190			210		
200			200		
210			190		
220			180		
240			165		

8. Собрать схему испытаний электронного выключателя нагрузки при временных перенапряжениях А2 и провести его испытания.

8.1. Подключить по рис. 8.5 вместо ЭОН-1 (устройство А1) электронный выключатель нагрузки при временных перенапряжениях (устройство А2).

8.2. По методике испытания устройства А1 (п. 7.1–7.3) провести испытания устройства А2. Результаты опытов записать в табл. 8.3.

9. На основании проведенных исследований сделать выводы об исправности испытанных ограничителей импульсных перенапряжений, а также о принципах работы испытанных ограничителей временных перенапряжений.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Рис. 8.2, 8.5; табл. 8.1–8.3.
3. Вольтамперная характеристика для положительных и отрицательных значений на одном графике по данным табл. 8.1.
4. Определение напряжения $U_{\text{откл}}$ и $U_{\text{вкл}}$ устройства А2 в процентах от номинального значения (по данным табл. 8.3):

$$U_{\text{откл}} \% = \frac{U_{\text{откл}}}{230} 100 \% ; U_{\text{вкл}} \% = \frac{U_{\text{вкл}}}{230} 100 \% .$$

Контрольные вопросы

1. Как проводится проверка исправности ограничителей импульсных перенапряжений в условиях эксплуатации?
2. Какой вид имеет вольтамперная характеристика ограничителя импульсных перенапряжений на варисторе при действии постоянного и переменного тока?
3. Опишите методику снятия вольтамперной характеристики ограничителя импульсных перенапряжений на постоянном токе.
4. Нарисуйте схему, по которой можно снять вольтамперную характеристику ограничителя импульсных перенапряжений на переменном токе.
5. Следует ли устанавливать в цепи ограничителей импульсных перенапряжений предохранители?
6. Нарисуйте схему взаимосвязи между классами ограничителей импульсных перенапряжений и категорией стойкости изоляции оборудования.
7. Назовите назначение и место установки ограничителей импульсных перенапряжений класса I (В).
8. Назовите назначение и место установки ограничителей импульсных перенапряжений класса II (С).
9. Назовите назначение и место установки ограничителей импульсных перенапряжений класса III (Д).
10. Назовите источники импульсных перенапряжений.
11. Каков принцип работы устройства ЭОН-1?
12. Каков принцип работы электронного выключателя нагрузки при временных перенапряжениях по рис. 8.4?

Лабораторная работа № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Цель занятия: исследовать устройства защитного отключения.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с аппаратами защиты, представленными на лабораторном стенде.
2. Ознакомиться с устройством дифференциального автомата АД-14 по макету.
3. Проверить работоспособность трехфазных УЗО.
4. Определить дифференциальный отключающий ток для исследуемых УЗО.
5. Определить фоновый ток утечки электроустановки при включении электродвигателя и нагревателей.
6. Проверить работоспособность УЗО при максимальной утечке.
7. Исследовать параметры электроустановки при обрыве нулевого проводника. Проверить работоспособность УЗО.

Теоретические сведения

Устройства защитного отключения (УЗО) – это электрические аппараты, способные обеспечить быстродействующее автоматическое отключение всех фаз сети при возникновении опасных токов утечки.

В основе действия УЗО лежит принцип ограничения продолжительности протекания тока (утечки) через тело человека или животного за счет быстрого отключения при возникновении опасности поражения электрическим током.

Опасность поражения человека или животного электрическим током возникает в следующих случаях:

- 1) при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- 2) при снижении сопротивления изоляции электрооборудования ниже допустимого значения и прикосновении к корпусу;
- 3) при замыкании фазы на корпус и прикосновении к этому корпусу.

Во всех случаях опасность поражения обусловлена:

- 1) величиной напряжения прикосновения;
- 2) током утечки через человека или животное;
- 3) продолжительностью воздействия тока.

УЗО, реагирующие на дифференциальный ток проводников сети (управляемые дифференциальным током), в настоящее время нашли наибольшее применение. Они обеспечивают быстрое отключение от сети поврежденного электрооборудования, если дифференциальный ток проводников питания превысит допустимое значение.

Дифференциальный ток проводников питания не равен нулю, если имеет место утечка тока на землю. В однофазной и трехфазной сети при отсутствии утечки тока на землю справедливы следующие выражения:

$$\begin{aligned} \dot{I}_A + \dot{I}_N &= 0; \\ \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_N &= 0. \end{aligned} \quad (9.1)$$

При утечке тока на землю на защищаемом участке сети

$$\begin{aligned} \dot{I}_A + \dot{I}_N &= \dot{I}_{\text{ут}}; \\ \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_N &= \dot{I}_{\text{ут}}, \end{aligned} \quad (9.2)$$

где $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C, \dot{I}_N, \dot{I}_{\text{ут}}$ – ток в фазах A, B, C , в нулевом проводнике и ток утечки соответственно.

Контроль суммы токов проводников осуществляется бесконтактным способом с помощью дифференциального трансформатора тока (ДТТ). Такой трансформатор тока охватывает проводники с током (рис. 9.1).

Если утечка тока отсутствует, то $\dot{I}_A = \dot{I}_B$ и суммарный магнитный поток в сердечнике ДТТ от этих токов равен нулю. Магнитные потоки (рис. 9.1, б) действуют внутри сердечника трансформатора. Во вторичной обмотке трансформатора ЭДС не индуцируется.

При протекании тока утечки на корпус $\dot{I}_A \neq \dot{I}_C$ и суммарный магнитный поток ДТТ не равен нулю. Во вторичной обмотке ДТТ возникает ЭДС, пропорциональная току утечки. Эта ЭДС имеет частоту питающего напряжения.

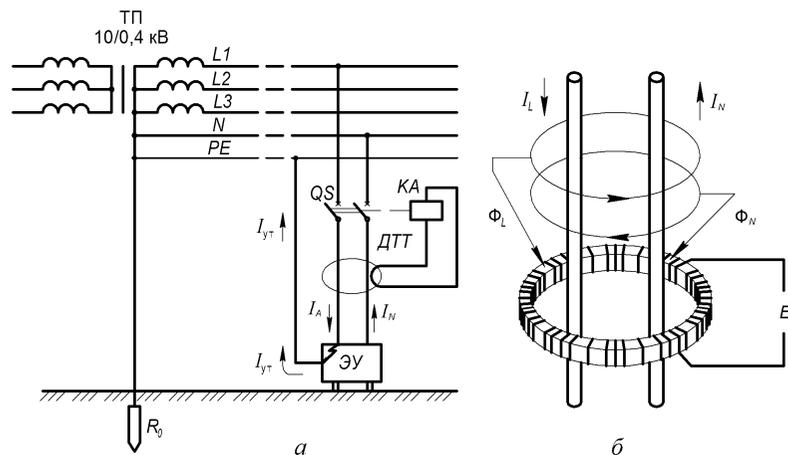


Рис. 9.1. Принципиальная электрическая схема УЗО, реагирующего на дифференциальный ток питающих проводников (а), и принцип действия ДТТ (б): ДТТ – дифференциальный трансформатор тока; КА – реле тока (расцепитель выключателя QS); I_L , I_N – ток в фазном и нулевом проводниках; I_{yt} – ток утечки; ЭУ – электрическая установка

По принципу взаимодействия элементов различают три группы УЗО с ДТТ:

- 1) электронные;
- 2) электромеханические;
- 3) совмещенные с автоматическими выключателями (с аппаратами защиты от сверхтоков).

В *электронном УЗО* механизм для выполнения операции отключения нуждается в энергии. Ее можно получить от контролируемой электрической сети (или от внешнего источника), а также от предварительно сжатых (растянутых) пружин аппаратов, включенных в режим самоудержания. Сигнал с дифференциального трансформатора тока подается на электронный усилитель или компаратор, с него – на усилитель мощности. Последний включает исполнительный орган (промежуточное реле или тиристор).

Электромеханические УЗО не содержат усилителей, поэтому они надежнее электронных УЗО. Основные элементы таких УЗО следующие:

- 1) дифференциальный трансформатор;
- 2) удерживающее реле с постоянным магнитом;
- 3) выключатель нагрузки (автоматический выключатель без расцепителей).

На рис. 9.2 изображено устройство трехфазного четырехполюсного УЗО на базе выключателя нагрузки.

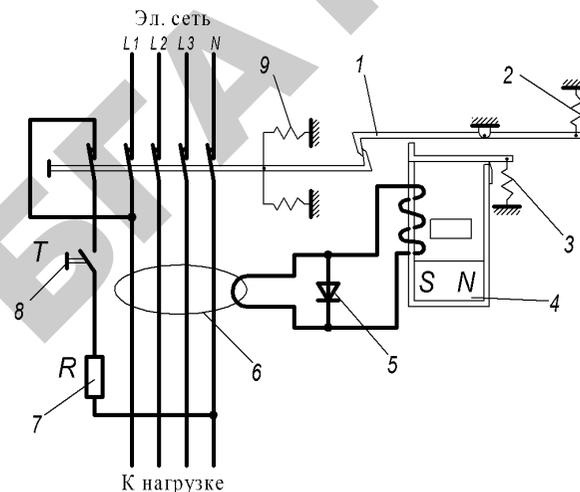


Рис. 9.2. Трехфазное электромеханическое УЗО с выключателем нагрузки и удерживающим реле с постоянным магнитом:

- 1 – защелка; 2 – пружина защелки; 3 – пружина, регулирующая силу натяжения якоря удерживающего реле; 4 – удерживающее реле с постоянным магнитом; 5 – шунтирующий диод; 6 – ДТТ; 7 – резистор цепи тестового контроля; 8 – кнопка «Тест»; 9 – пружина выключателя нагрузки

Удерживающее реле 4 имеет постоянный магнит. Выходное напряжение ДТТ 6 подается на диод 5 и далее на обмотку реле. Одна полуволна напряжения шунтируется диодом. При отсутствии утечки тока в силовой сети суммарный магнитный поток проводников фаз и нулевого рабочего проводника равен нулю. Во вторичной обмотке ДТТ не индуцируется ЭДС. Нагрузка остается включенной в сеть.

При появлении тока утечки в силовой сети в магнитопроводе ДТТ появляется нескомпенсированный магнитный поток, который индуцирует ЭДС во вторичной обмотке. Поскольку эта обмотка замкнута на обмотку удерживающего реле, то появляется ток в обмотке. Одна полуволна тока шунтируется диодом, а вторая размагничивает сердечники удерживающего реле. Его якорь отрывается от сердечников, ударяет по защелке 1, и под действием пружины 9 контакты выключателя размыкаются. Нагрузка отключается от сети.

Для контроля исправности УЗО служит кнопка «Тест» 8. При ее нажатии искусственно создается ток утечки от проводника *N* (после окна ДТГ), аналогичный по действию утечке в сети. Через резистор 7, кнопку 8, блок-контакт выключателя на фазу *A* этот ток один раз проходит через окно ДТГ. Подбирается такая величина сопротивления резистора, чтобы создать паспортный ток утечки УЗО.

УЗО, совмещенное с автоматическим выключателем, представляет собой устройство, в котором помимо электромагнитного и теплового расцепителей имеется ДТГ и магнитоэлектрический расцепитель, а также кнопка «Тест» и тестовый резистор. УЗО, совмещенные с автоматическими выключателями, называют *дифференциальными автоматами*.

Методика выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с аппаратами защиты, представленными на лабораторном стенде. Обратит внимание на надписи на аппаратах защиты. Заполнить табл. 9.1.

На панели стенда размещены аппараты и приборы, с помощью которых собрана схема стенда (рис. 9.3).

В силовой цепи электроустановки может быть включен автоматический выключатель QF1 или дифференциальный выключатель QF2. Они предназначены для защиты силовой цепи от токов КЗ. Дифференциальный выключатель QF2 предназначен не только для защиты цепи от токов КЗ, но и для защиты этих цепей по току утечки.

Если включить QF1, то последовательно с ним могут быть включены УЗО с номинальным дифференциальным током 10 мА (QF3) или 30 мА (QF4).

Электроустановка представляет собой модель тепловентилятора. Она имеет трехфазный асинхронный электродвигатель *M* с КЗ-ротором и электрический нагреватель из трех элементов (R1, R2, R3). Электродвигатель коммутируется электромагнитным пускателем *KM*, а электрические нагреватели – выключателями нагрузки SA2, SA3, SA4.

Электроустановка, смонтированная на стенде, имитирует работу УЗО в системе TN-C-S. Эта система на вводе стенда имеет 4 проводника системы TN-C (с PEN-проводником). На вводе проводник PEN разделен на 2 проводника: PE и N. Эти проводники прокладываются отдельно и не соединяются между собой в пределах электроустановки. В настоящее время данная система является

основной, и ее можно выполнить в отдельной части электроустановки при проведении реконструкции. В этой системе нулевой проводник *N* коммутируется контактами УЗО и контактами автоматического выключателя.

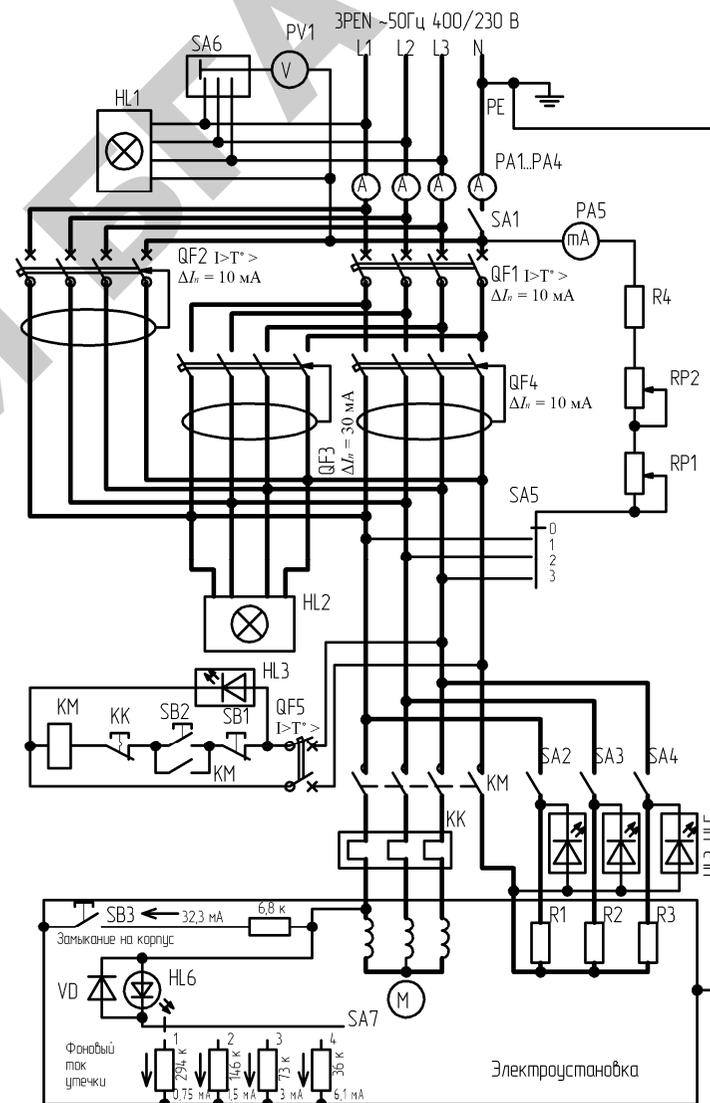


Рис. 9.3. Принципиальная электрическая схема стенда

Измерение тока срабатывания УЗО производится миллиамперметром PA5, тока нагрузки электроустановки – амперметрами PA1–PA4.

Наличие фоновго тока утечки имитируется выключателями SA5 и SA7, светодиодом HL6. Максимальная утечка – кнопкой SB3 (замыкание на корпус).

2. Ознакомиться с устройством дифференциального автомата АД-14 по макету. Найти на макете дифференциальный трансформатор, расцепитель, электронную схему усилителя.

3. Проверить работоспособность УЗО, включенного в сеть, нажатием на кнопку «Тест».

3.1. Установить переключатель SA5 в положение 0.

3.2. Включить SA1, QF1–QF4. Загорится индикатор HL2, сигнализируя об их включении.

3.3. Нажать на кнопки «Тест» аппаратов QF2, QF3 и QF4. Если они отключатся, значит, исправны. Если не отключатся, необходимо сообщить об этом преподавателю.

4. Определить дифференциальный отключающий ток для исследуемых УЗО.

4.1. Переключатель SA5 поставить в положение 0, а переменные резисторы RP1 и RP2 – в крайнее левое положение, что соответствует их наибольшему сопротивлению.

4.2. Включить одно УЗО, например QF2.

4.3. Перевести переключатель SA5 в положение 1 и, постепенно уменьшая сопротивление RP1 поворотом рукоятки по часовой стрелке, следить за показаниями миллиамперметра PA5. Обратить внимание на значение тока, при котором срабатывает QF2.

4.4. Повторить п. 4.3 в положении 2 переключателя SA5, затем в положении 3. Результаты опытов записать в табл. 9.1. Вычислить и записать среднее значение тока срабатывания.

4.5. Аналогичным образом проверить ток срабатывания других УЗО, отключая только то УЗО, которое испытывается.

5. Определить фоновый ток утечки электроустановки при включении электродвигателя и нагревателей.

5.1. Прежде чем включить нагрузку, установить переключатель фоновго тока утечки и переключатель фаз SA5 в положение 1, RP1 и RP2 – в положение наибольшего сопротивления (крайнее левое положение). Выключатели нагрузки SA2–SA4 находятся в отключенном состоянии.

5.2. Включить QF5, QF2 и двигатель, нажав на кнопку SB2.

Постепенно уменьшая RP1, следить за током миллиамперметра PA5. Записать значение тока, при котором произошло отключение QF2, в табл. 9.1.

5.3. Установить SA5 в положение 1, RP1 и RP2 – в положение наибольшего сопротивления, SA7 – в положение 2. Включить QF4, KM и SA2. Постепенно уменьшая RP1, добиться срабатывания QF4. Записать значение тока срабатывания в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Результаты опытов и расчетов по определению фоновго тока утечки электроустановки

Параметры	Аппарат защиты		
	АД-14 (QF2)	ВД1-63/4/16/30 (QF3)	ВД1-63/4/16/10 (QF4)
Ток срабатывания УЗО $I_{сраб}$, мА			
Среднее значение тока срабатывания $I_{сраб}$, мА			
Ток срабатывания при включении QF2 и электродвигателя (SA7 в положении 1) $I'_{сраб.1}$, мА		–	–
Ток срабатывания при включении QF4, электродвигателя и SA2 (SA7 в положении 2) $I'_{сраб.2}$, мА	–	–	
Ток срабатывания при включении QF4, электродвигателя, SA2, SA3 (SA7 в положении 3) $I'_{сраб.3}$, мА	–	–	
Ток срабатывания при включении QF3, электродвигателя, SA2, SA3, SA4 (SA7 в положении 4) $I'_{сраб.4}$, мА	–		–
Фоновый ток утечки электроустановки $I'_{ф}$, мА			

5.4. Установить SA5 в положение 1, RP1 и RP2 – в положение наибольшего сопротивления, SA7 – в положение 3. Включить QF4, KM, SA2, SA3. Постепенно уменьшая RP1, добиться срабатывания QF4. Записать значение тока срабатывания в табл. 9.1.

5.5. Установить SA5 в положение 1, RP1 и RP2 – в положение наибольшего сопротивления, SA7 – в положение 4. Включить QF3, KM, SA2, SA3, SA4. Постепенно уменьшая RP1, а затем RP2, добиться срабатывания QF3. Записать значение тока срабатывания в табл. 9.1.

Фоновый ток утечки электроустановки определить по формуле

$$I_{\phi} = I'_{\text{сраб}} - I_{\text{сраб}}, \quad (9.3)$$

где $I'_{\text{сраб}}$, $I_{\text{сраб}}$ – токи срабатывания в опытах, табл. 9.1.

6. Проверить работоспособность УЗО при максимальной утечке. При этом имитируется замыкание на корпус.

6.1. Включить УЗО QF2, электродвигатель и нажать на кнопку SB3. УЗО должно отключиться.

6.2. Проверить согласно п. 6.1 работоспособность всех испытуемых УЗО (QF2, QF3, QF4).

7. Исследовать параметры электроустановки, определив силу тока и напряжение по фазам при наличии нулевого проводника и без него.

7.1. При включенном SA1 включить QF2, QF4, электродвигатель М и записать значения силы тока и напряжения в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Исследование параметров электроустановки

Условия опыта	U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	I_0 , А	Положение переключателя SA7 при срабатывании УЗО
При наличии нулевого проводника (SA1 замкнут)								Положение ...
Без нулевого проводника (SA1 разомкнут)								Положение ...

7.2. Включить дополнительно SA2 и записать новые значения силы тока и напряжения.

7.3. Повторить п. 7.2, включая вместо SA2 выключатели SA3 и SA4.

7.4. Согласно п. 7.1–7.3 проверить работу электроустановки при отключенном нулевом проводнике, при этом SA1 должен быть отключен. При отключенном нулевом проводнике проверяют срабатывание УЗО, имитируя замыкание на корпус кнопкой SB3 и изменяя фоновый ток утечки переключателем SA7.

8. Сделать выводы по работе:

- о влиянии тока нагрузки на фоновый ток электроустановки;
- о влиянии нулевого проводника на токи и напряжения электроустановки, на срабатывание УЗО.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Принципиальная электрическая схема стенда проверки трехфазных УЗО.
4. Табл. 9.1–9.2 с опытными данными.

Контрольные вопросы

1. Какой тип трехфазного УЗО был изучен в лаборатории?
2. На какие номинальные токи выпускаются трехфазные УЗО компании «ИЭК»?
3. Чем отличается дифференциальный автоматический выключатель АД-14 от УЗО?
4. На какой ток (переменный или выпрямленный пульсирующий) выпускаются дифференциальные автоматы АД-14?
5. Что изображается на лицевой стороне аппаратов АД-14, ВД-1 и что обозначают эти изображения?
6. Как обозначается УЗО на электрических схемах?
7. Опишите методику определения фонового тока электроустановки.
8. Нарисуйте принципиальную электрическую схему включения УЗО в электроустановках системы TN–C, TN–S, TN–C–S, IT, TT.
9. Перечислите рекомендации по применению УЗО на сельскохозяйственных объектах.
10. Опишите устройство дифференциального автомата АД-14.

Лабораторная работа № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕПЛООВОГО ТОКОВОГО РЕЛЕ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Цель занятия: исследовать электротепловое токовое реле защиты электродвигателя.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с принципом действия электротеплового токового реле.
2. Произвести испытание электротеплового токового реле. Определить его защитную характеристику.
3. Настроить электротепловое реле на требуемое значение тока срабатывания опытным путем.
4. Освоить методику настройки электротеплового реле расчетным путем.

Теоретические сведения

Тепловая защита использует свойство электрического тока выделять на сопротивлениях электрической цепи тепло, пропорциональное квадрату тока и времени. На сопротивлениях обмоток электродвигателя выделяется тепло по тому же закону, что и на нагревателях специального устройства, получившего название **электротепловое реле**, или тепловое реле. Кроме нагревателя такое реле имеет чувствительный элемент. Им служит биметаллическая пластина. Она состоит из двух полосок разных металлов, скрепленных между собой путем прокатки. Материалы имеют различные коэффициенты линейного расширения. При нагревании такой пластинки она выгибается в сторону материала с меньшим коэффициентом линейного расширения. При этом через систему рычагов и пружин размыкаются или переключаются контакты реле.

Связь нагревателя и биметаллической пластинки может осуществляться четырьмя способами:

1) нагреватель располагается рядом с пластинкой (наихудший вариант);

2) нагреватель намотан на пластинку поверх теплостойкой изоляции (наиболее часто применяемый вариант);

3) нагревателем и чувствительным элементом является одна и та же биметаллическая пластинка (наилучший вариант);

4) комбинацией второго и третьего способов.

В автоматических выключателях имеются тепловые расцепители, которые имеют одинаковый с тепловым реле принцип действия.

Электротепловое токовое реле обеспечивает обратозависимую защитную характеристику, что хорошо согласуется с защитной характеристикой электродвигателя при продолжительном режиме работы. При кратковременном режиме работы или при перемежающихся режимах работы с переменной нагрузкой тепловая защита на тепловом реле или тепловом расцепителе автоматического выключателя работает неудовлетворительно. Это связано с тем, что постоянные величины времени нагревания теплового реле и электродвигателя различны. Электродвигатели имеют большую постоянную нагревания и охлаждения, чем тепловые реле (нагреваются и охлаждаются медленнее), поэтому тепловые реле не используются для защиты от перегрузки при работе электродвигателя в кратковременном режиме.

Часто электродвигатели устанавливаются в одном помещении, а ящик управления с тепловыми реле – в другом. Следовательно, они подвержены разным температурам окружающего воздуха. В этом случае еще более усугубляется несоответствие теплового состояния чувствительного элемента теплового реле и действительной температуры электродвигателя.

Тепловые реле просты по конструкции и недороги. В этом их основное преимущество. Однако они имеют разброс параметров срабатывания, недостаточную стабильность характеристик во времени и недостаточную коррозионностойкость.

Методика выполнения лабораторной работы

1. На основании общих сведений ознакомиться с принципом действия электротеплового токового реле.

2. Произвести испытание электротеплового токового реле. Определить его защитную характеристику.

2.1. Собрать схему, показанную на рисунке.

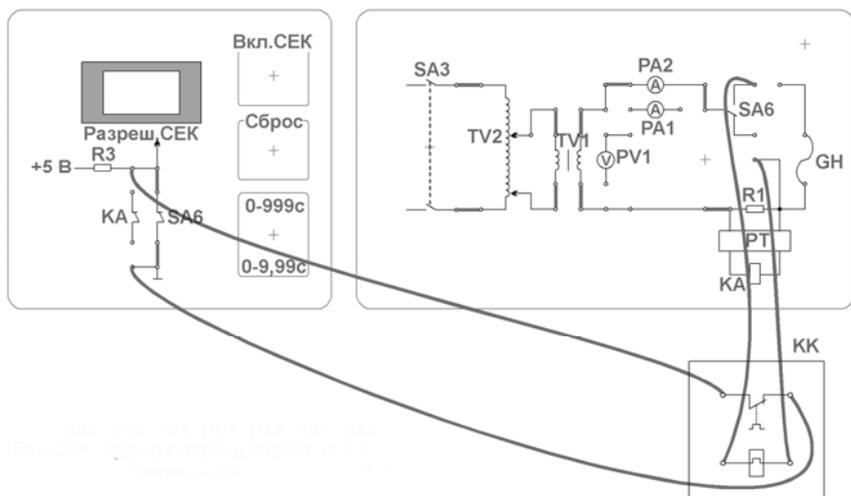


Рис. Схема лабораторной установки исследования электротеплового токового реле

2.2. Установить указатель уставки реле КК на среднее значение тока. Например, если испытывается электротепловое токовое реле РТТ с номинальным током уставки 0,32 А, то среднее положение указателя реле соответствует 0,32 А.

2.3. Определить значения напряжения ЛАТРа, при которых будет обеспечиваться кратность тока испытания, указанная в таблице. Для этого включить SA3, установить ток, равный $1,2I_{\text{ном. уст}}$. Записать в таблицу значение напряжения ЛАТРа, соответствующее данному току. Аналогично определить напряжение ЛАТРа при $1,5I_{\text{ном. уст}}$; $2I_{\text{ном. уст}}$; $3I_{\text{ном. уст}}$; $4I_{\text{ном. уст}}$. Если реле сработает, следует немедленно отключить SA3 и выждать не менее 30 с. Затем возобновить опыты.

2.4. Для дальнейших опытов следует прогреть реле. Включить SA3, с помощью ЛАТРа установить ток $2I_{\text{ном. уст}}$. В момент срабатывания реле немедленно отключить SA3.

2.5. Засечь на переносном секундомере 30 с, обнулить показания секундомера РТ и установить напряжение на ЛАТРе, соответствующее первому опыту ($1,2I_{\text{ном. уст}}$).

2.6. Включить SA3 по истечении 30 с (п. 2.5). Секундомер РТ начнет отсчет и остановится после срабатывания реле. В момент

срабатывания реле немедленно отключить SA3. Занести время срабатывания t и ток испытания I в таблицу.

2.7. Повторить п. 2.5–2.6 при токах реле, равных $1,5I_{\text{ном. уст}}$; $2I_{\text{ном. уст}}$; $3I_{\text{ном. уст}}$; $4I_{\text{ном. уст}}$.

Таблица

Данные опытов испытания электротеплового токового реле

Кратность тока уставки $K = I / I_{\text{ном. уст}}$	Измерено		
	Напряжение на ЛАТРе, В	Ток испытания I , А	Время срабатывания t , с
1,2			
1,5			
2,0			
3,0			
4,0			

3. Настроить электротепловое реле на требуемое значение тока срабатывания опытным путем.

Для настройки теплового реле поступают следующим образом. Предположим, требуется настроить тепловое реле типа РТТ-111 с номинальным током уставки 0,32 А на рабочий ток срабатывания 0,28 А. При этом рабочем токе тепловое реле не должно срабатывать. Из защитной характеристики реле РТТ известно, что при трехполосном включении и кратности тока 1,2 в горячем состоянии реле должно сработать за 260 с, при кратности 1,5 – за 100 с, при 2,0 – за 42 с, при 3,0 – за 17,5 с, при 4,0 – за 11 с. В качестве контрольной точки рекомендуется брать одну точку с кратностью тока 1,5.

3.1. Установить регулятор тока срабатывания реле на наибольшее значение.

3.2. Прогреть реле двукратным током ($2 \cdot 0,32 = 0,64$ А).

3.3. Как только реле сработало, отключить установку при помощи SA3, выждать 30 с, установить напряжение на ЛАТРе, соответствующее току $1,5 \cdot 0,32 = 0,48$ А, обнулить секундомер.

3.4. Запустить установку при помощи SA3. Как только начнется отсчет времени секундомером РТ, скорректировать ЛАТРом ток в цепи и вставить отвертку в гнездо регулятора тока срабатывания.

3.5. При отсчете времени 90–95 с аккуратно повернуть регулятор тока срабатывания в сторону уменьшения тока до момента

срабатывания реле. Продолжительность этой регулировки должна быть не более 5–10 с.

3.6. Повторить опыт при том же токе с целью убедиться, что реле срабатывает за время не более 100 с.

3.7. Можно провести опыт настройки реле, охлажденного до температуры окружающей среды (в холодном состоянии). Тогда при кратности тока 1,5 время срабатывания увеличится до 200 с.

3.8. Для более точной настройки реле на требуемый ток (*в лаборатории это выполнять не надо*) проводят дополнительную проверку срабатывания реле при двухполюсном включении нагревателей, отключая поочередно один из нагревателей. Таких опытов следует провести три. В соответствии с защитной характеристикой реле РТТ время срабатывания при неполнофазном режиме в горячем состоянии при кратности тока 1,5 должно составить приблизительно 29 с, а в холодном – 55 с. При проведении таких опытов запоминают положение регулировочного винта или рычага, при котором произошло срабатывание реле. Окончательно рычаг устанавливают на замеченном положении.

4. Освоить методику настройки электротеплового реле расчетным путем.

При настройке теплового реле расчетным путем следует учесть, что регулировочный винт или рычаг теплового реле может поворачиваться от среднего значения в обе стороны (+ и –) на 5 делений. В технических данных реле типа РТТ указано, что все реле этой серии допускают регулировку $0,3I_n$, значит, цена одного деления соответствует $0,03I_{ном}$. Например, для используемого реле типа РТТ-111 с номинальным током 0,32 А одно деление составляет $0,03 \cdot 0,32 = 0,0096$ А. Следовательно, при настройке на ток 0,23 А нужно повернуть регулировочный винт от среднего положения в сторону уменьшения на рассчитанное количество делений:

$$N = \frac{0,32 - 0,28}{0,0096} = 4,17 \text{ деления.}$$

В технических данных тепловых реле РТЛ указаны не номинальные токи уставки, а диапазоны регулирования тока уставки реле (иногда такие данные приводят и для реле типа РТТ). Для реле типа РТЛ рычаг можно установить в двадцать положений (на зубчатой

рейке). В этом случае цена одного деления шкалы составит $C = 0,05$ от диапазона регулирования. Например, для реле РТЛ-100504 диапазон регулирования тока 0,61–1,0 А, т. е. 0,39 А. Цена одного деления (одного зубца на рейке) $C = 0,05 \cdot 0,39 = 0,0195$ А. Если необходимо настроить реле на ток 0,8 А, от верхнего значения следует отступить

$$N = \frac{1,0 - 0,8}{0,0195} = 10,25 \text{ деления.}$$

5. На основании проведенных исследований сделать вывод о правильности настройки электротеплового токового реле, а также о преимуществах и недостатках изученных способов настройки реле на требуемый ток срабатывания.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема лабораторной установки (рис.).
3. Таблица с опытными данными испытания электротеплового токового реле.
4. График защитной характеристики теплового реле $t_{cp} = t(I)$.

Контрольные вопросы

1. Какова методика испытания электротеплового реле?
2. Какова методика настройки электротеплового реле на требуемый ток?
3. Какова методика настройки электротеплового реле расчетным путем?
4. Нарисуйте защитную характеристику электротеплового реле при двухполюсном и трехполюсном включениях.
5. Как выбирается электротепловое реле для защиты электродвигателя от перегрузки?
6. Как могут располагаться по отношению друг к другу нагреватели и биметаллические пластины в тепловом реле?
7. Какие преимущества и недостатки имеют электротепловые токовые реле?

Лабораторная работа № 11

ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТОВ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Цель занятия: исследовать аппараты температурной защиты электродвигателей.

Задачи занятия

1. Изучить принцип действия температурных защит.
2. Ознакомиться с конструкцией устройств температурной защиты, размещенных на стенде. Собрать схему для испытаний термодетекторов.
3. Провести испытания позистора (защиты УВТЗ-1) и термистора (защиты АТВ-229).
4. Проверить работоспособность защит АТВ-229 и УТВЗ-1.

Теоретические сведения

Температурная защита электродвигателя основана на непосредственном контроле температуры обмотки электродвигателя с помощью термодетекторов. В качестве термодетекторов используются полупроводниковые сопротивления – термисторы или позисторы. Например, в защитных устройствах АТВ-229 используются термисторы ТР33, а в устройствах АЗП и УВТЗ – позисторы СТ14. Для защиты электродвигателей разработаны специальные позисторы. Они характеризуются скачкообразным (в десятки раз) увеличением сопротивления при определенной температуре. Например, позисторы СТ14-2-115 имеют при 20 °С сопротивление 70–80 Ом, а при 115 °С – 2000–2500 Ом.

Термодетекторы могут включаться в различные схемы с полупроводниковыми усилителями или без них.

Температурная защита является наиболее приемлемой по сравнению с другими защитами, поскольку реагирует на все аварийные состояния (кроме увлажнения обмотки). Однако существующие конструкции устройств температурной защиты требуют прокладки дополнительных проводов от электрического двигателя (от позисторов) к шкафу управления, где установлен усилительный блок. В последних разработках температурной защиты усилительный блок

устанавливают в коробке выводов электродвигателя. При этом требуется прокладка проводов от электродвигателя к шкафу управления (для коммутации катушки электромагнитного пускателя).

Термодетекторы встроенной температурной защиты

Нагрев обмотки можно контролировать различными температурными датчиками, например терморезисторами. Высокая чувствительность к изменению температуры, малые габариты и небольшая инерционность обусловили их предпочтительное использование для защиты двигателей.

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) терморезисторов на порядок выше, чем ТКС металлических проводников. Различают терморезисторы с отрицательным (сопротивление уменьшается при повышении температуры) и положительным (сопротивление увеличивается при повышении температуры) ТКС.

Терморезисторы с отрицательным ТКС соединяются параллельно. С уменьшением сопротивления одного терморезистора уменьшается и результирующее сопротивление цепи (рис. 11.1). Соединять их последовательно нельзя, т. к. при нагреве одного из них общее сопротивление уменьшается в лучшем случае всего на $\frac{1}{3}$, что может не привести к срабатыванию защиты. Для компенсации разброса температурных характеристик терморезисторы с отрицательным ТКС целесообразно соединять с устройством защиты четырьмя проводами: по одному от каждого из трех терморезисторов в разных фазах и один провод от общей точки их соединения.

В случае применения позисторов все три прибора для трех фаз соединяют последовательно, в результате чего требуется вести только два провода от двигателя к устройству защиты. В случае нагрева любого из позисторов общее сопротивление резко увеличивается.

Каждый термодатчик, встроенный в фазу обмотки двигателя, будет довольно точно фиксировать ее температуру в соответствии со своей характеристикой $R = f(t)$ до сопротивления срабатывания устройства защиты $R_{сраб.}$ Однако другая картина наблюдается, когда к устройству защиты подключается цепь из трех термодатчиков. На рис. 11.1 для сравнения приведены погрешности $\Delta\theta$ срабатывания температурных защит с тремя последовательно соединенными позисторами и тремя параллельно соединенными терморезисторами с отрицательным ТКС.

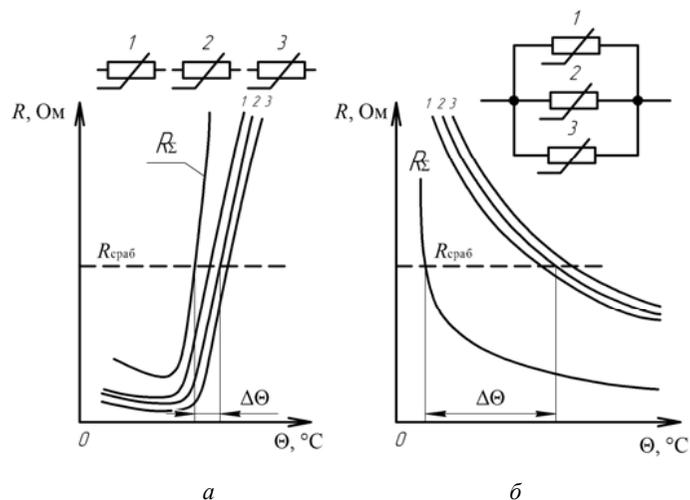


Рис. 11.1. Сравнение температурной погрешности $\Delta\theta$ при срабатывании одного или трех термодетекторов: *a* – последовательное соединение; *б* – параллельное соединение терморезисторов с отрицательным ТКС

Таким образом, преимущество защиты на резисторах с «релейной» характеристикой заключается в значительно меньшей температурной погрешности в результате срабатывания 1, 2 или 3 последовательно соединенных позисторов (по сравнению с параллельно соединенными терморезисторами с отрицательным ТКС).

На рис. 11.2 показаны температурные характеристики позистора СТ14-1А, терморезистора КМТ-1 и медного термометра сопротивления (Cu). Температурный коэффициент сопротивления СТ14-1А имеет резко выраженный максимум в зоне рабочей температуры.

Максимальное значение ТКС позистора СТ14-1А достигает $50\% / ^\circ\text{C}$, в то время как отрицательный ТКС терморезистора КМТ-1 составляет $4,2\text{--}8,4\% / ^\circ\text{C}$, а медного термометра сопротивления – $0,4\% / ^\circ\text{C}$.

Из характеристики позистора СТ14-1А (рис. 11.2) видно, что в диапазоне температур $110\text{--}130\text{ }^\circ\text{C}$ сопротивление меняется от 10^2 до 10^4 Ом. Такое резкое изменение сопротивления позволяет легко создавать соответствующие устройства защиты, которые срабатывают в указанном диапазоне температур с высокой точностью.

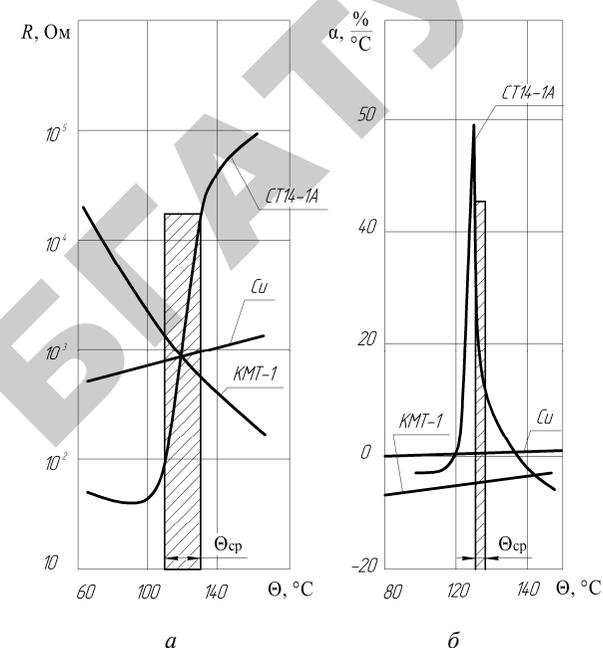


Рис. 11.2. Температурная характеристика (*a*) и ТКС (*б*) позистора СТ14-1А, медного термометра сопротивления (Cu) и терморезистора КМТ-1

Температуру срабатывания позисторов, при которой происходит резкий скачок сопротивления, называют *классификационной*, т. к. она согласована с допустимой температурой изоляции соответствующего класса.

Из приведенных параметров можно сделать вывод, что у всех позисторов с различной классификационной температурой одинаковые выходные параметры. Это означает, что аппараты защиты, которые подключаются к позисторам, взаимозаменяемы независимо от класса изоляции электродвигателя.

Основные модификации устройств встроенной температурной защиты

Аппаратура температурной встроенной защиты АТВ-229 служит для защиты от перегрева обмоток электродвигателей, подшипников и других деталей производственных механизмов.

Аппаратура АТВ-229 может быть использована как для отключения агрегата, так и для сигнализации о температуре выше заданной в контролируемой зоне.

Аппаратура АТВ-229 состоит из термодетекторов ТДП-231у или ТДП-232у и температурного реле РТ-230у. Термодетектор ТДП-231у предназначен для встраивания в подшипники и другие детали механизмов, термодетектор ТДП-232у – в обмотки электродвигателей.

Аппаратура выпускается на напряжение 220 или 380 В при частоте тока 50 Гц. Область контролируемых температур от +24 до +131 °С. Температура срабатывания исполнительного реле может устанавливаться через каждые 10 °С в пределах диапазона рабочих температур применяемого датчика. Погрешность прибора не более ±6 °С.

Датчиком температуры является полупроводниковое термосопротивление, заключенное в защитную оболочку и включенное последовательно в цепь питания исполнительного реле КV (рис. 11.3).

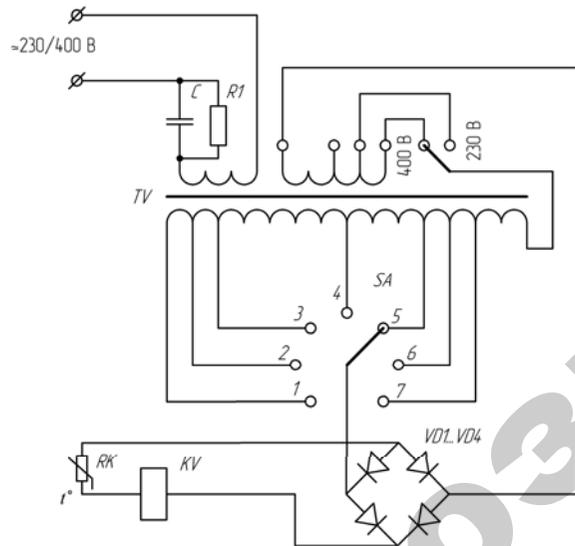


Рис. 11.3. Принципиальная электрическая схема АТВ-229

Применяемое в термодатчиках ТДП-231у и ТДП-232у термосопротивление ТР33 обладает релейным эффектом, т. е. резко (в сотни раз) уменьшает свое сопротивление при достижении

окружающей средой некоторой определенной температуры. Релейный эффект происходит за счет подогрева термосопротивления протекающим через него током. До тех пор пока температура окружающей среды не достигла установленной величины, в цепи термосопротивления протекает незначительный ток, явно недостаточный для срабатывания реле. При повышении температуры окружающей среды до величины уставки температурного реле РТ-230у сопротивление термодатчика резко уменьшается, что приводит к срабатыванию исполнительного реле, которое отключает электродвигатель от питающей сети.

Температура уставки температурного реле РТ-230у определяется величиной напряжения на термосопротивлении. Чем больше напряжение, тем ниже температура срабатывания.

Феррорезонансный стабилизатор напряжения TV (рис. 11.3) обеспечивает неизменность температурной уставки реле РТ-230у при снижении напряжения сети до 50 %, что гарантирует надежную защиту трехфазного электродвигателя при обрыве одной из трех фаз.

Термодатчик ТДП-232у плотно закладывают между проводами обмотки электродвигателя в местах наибольшего нагрева. Для короткозамкнутых асинхронных двигателей рекомендуется закладывать термодатчики в лобовые части обмоток статора со стороны вводящего вала.

Устройство защиты УВТЗ-1 с применением позисторов типа СТ14-1 разработано с учетом специфики работы оборудования в сельскохозяйственном производстве и других особенностях. При разработке схем преследовалась цель максимально упростить и одновременно унифицировать систему защиты, а также уменьшить влияние разброса параметров датчиков на стабильность работы защитного устройства.

Устройство УВТЗ-1 состоит из блока стабилизированного питания и преобразователя, увеличивающего сигнал от температурных датчиков и преобразовывающего его в сигнал управления выходным элементом. Выходной элемент коммутирует цепь питания катушки магнитного пускателя.

При работе двигателя в аварийном режиме повышается температура его обмоток. Когда она становится равной температуре срабатывания термодатчиков (для СТ14-1А эта температура составляет 130 °С), сопротивление цепи термодатчиков достигает 2200 Ом, преобразователь

срабатывает и с помощью промежуточного реле отключает электродвигатель от сети (рис. 11.4). Цепь питания магнитного пускателя будет разомкнута до тех пор, пока обмотка не остынет до определенного значения температуры. После этого возможен повторный запуск электродвигателя кнопкой SB1.

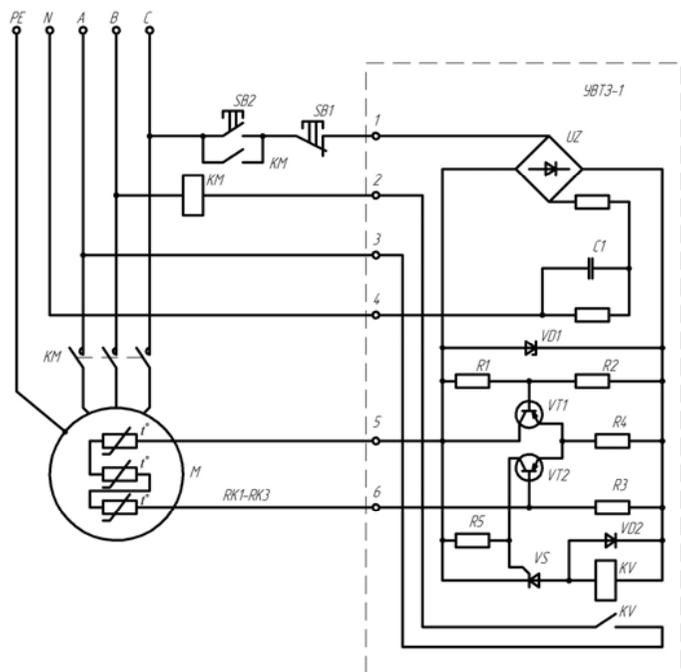


Рис. 11.4. Принципиальная электрическая схема УВТЗ-1

Питание УВТЗ-1 осуществляется от сети переменного тока 230 В при частоте 50 Гц через выпрямительный мост. Выпрямленное напряжение стабилизируется стабилитроном.

Преобразователь выполнен в виде моста из трех резисторов R1–R3 и четвертого резистора-термодатчика. В диагональ моста включен транзисторный токовый ключ, имеющий 100%-ю обратную связь и обеспечивающий стабильность работы схемы в широком интервале температур (от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Для управления промежуточным реле введен дополнительный элемент – тиристор с номинальным напряжением 50 В (рис. 11.4). Такое сочетание расширяет функции самоконтроля исправной

работы схемы защиты, т. к. в случае короткого замыкания в цепи позисторов происходит отключение устройства защиты УВТЗ-1.

В исходном состоянии температура термодатчиков ниже температуры срабатывания и их сопротивление мало. Транзистор VT1 закрыт, ток источника питания, определяемый напряжением на стабилитроне и сопротивлением резистора R4, протекает через открытый транзистор VT2 и управляющую цепь тиристора VS. Тиристор включается, при этом срабатывает реле KV и замыкает свой контакт в цепи питания магнитного пускателя.

При нагреве термодатчиков до температуры срабатывания их сопротивление резко возрастает, транзистор VT2 закрывается, а транзистор VT1 открывается. Происходит переход тиристора в непроводящее состояние. При этом отключается реле KV, способствуя отключению электродвигателя от питающей сети.

При изменении температуры окружающей среды от $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ сопротивление срабатывания изменяется на 20–100 Ом относительно сопротивления срабатывания при $20 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при изменении напряжения питания от 154 до 242 В – на ± 30 Ом, что в переводе на температуру составляет 0,1–1,0 $^{\circ}\text{C}$.

Герметизация УВТЗ-1 обеспечивает возможность работы в агрессивных средах животноводческих и других помещений сельскохозяйственного производства.

Наряду с высокоточными и стабильными полупроводниковыми системами возможно использование более дешевых, простых в изготовлении и обслуживании устройств защиты.

Принципиальная электрическая схема устройства защиты УВТЗ-2 изображена на рис. 11.5.

Принцип работы устройства заключается в следующем. При подаче напряжения питания на УВТЗ-2 реле KV срабатывает и замыкает свой контакт в цепи катушки магнитного пускателя, который подключает электродвигатель к питающей сети. Это происходит в том случае, если температура обмотки двигателя ниже рабочей температуры позисторов, их сопротивление мало (150–450 Ом) и ток, протекающий через реле KV, больше тока срабатывания.

В аварийном режиме, когда температура обмотки двигателя достигает температуры срабатывания термодатчиков, сопротивление их резко возрастает, а ток в цепи реле KV резко уменьшается, и оно отключается, способствуя отключению электродвигателя.

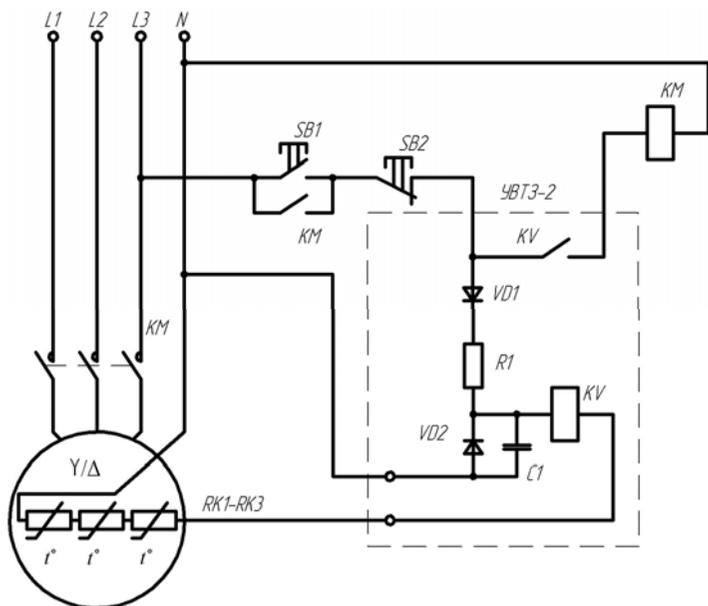


Рис. 11.5. Принципиальная электрическая схема УВТЗ-2

В схеме УВТЗ-2 совмещены две защитные функции: защита от аварийных тепловых режимов асинхронных двигателей и защита от обрыва нулевого провода, т. к. его обрыв приводит к разрыву цепи питания реле KV1 и отключению двигателя.

В схеме используется лишь один провод для соединения цепи термодатчиков с УВТЗ-2 (в отличие от других схем подобных устройств).

Устройство УВТЗ-2 имеет самоконтроль рабочего состояния, низкую стоимость, обладает малой потребляемой мощностью и является простым в обслуживании. Однако устройство характеризуется пониженной точностью контроля температуры.

Устройство защиты типа УВТЗ-1М включает в себя узел питания, усилитель и выходное реле KV (рис. 11.6). Узел питания состоит из диодного моста VD1–VD4, ограничивающих резисторов R1, R2 и R4, стабилитронов VD5 и VD8. Усилитель выполнен на транзисторах VT1–VT4 и тиристоре VS.

Схема УВТЗ-1М работает следующим образом. Если температура обмотки электродвигателя ниже предельно допустимого значения,

то сопротивление позисторов мало и напряжение, поступающее на транзистор VT4, больше значения порога срабатывания усилительного каскада VT3 и VT4, определяемого делителями R6, R7, R8. В этом случае транзистор VT4 открыт, транзистор VT1 и тиристор VS – закрыты, реле KV – обесточено.

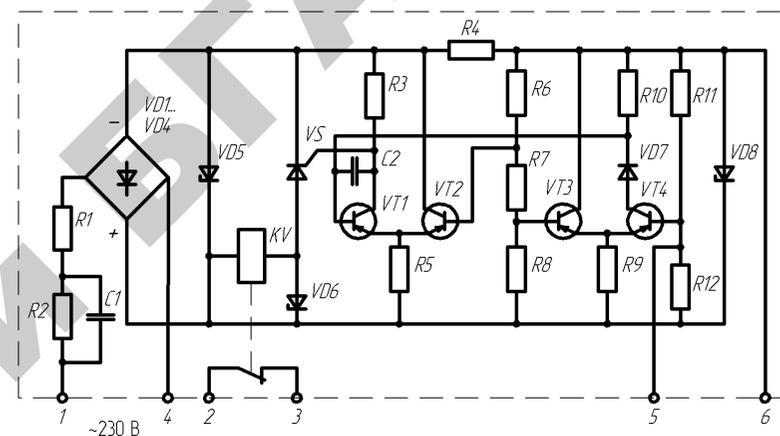


Рис. 11.6. Принципиальная электрическая схема устройства УВТЗ-1М

При увеличении температуры обмоток электродвигателя сверх предельно допустимого значения сопротивление позисторов резко возрастает, а сигнал, поступающий на транзистор VT4, уменьшается. Транзистор VT4 закрывается, а VT1 – открывается. Тиристор VS и выходное реле KV включаются, и контакты реле KV размыкают цепь питания катушки магнитного пускателя, который отключает электродвигатель от сети.

Устройство УВТЗ-1М осуществляет также самоконтроль – отключает электродвигатель при возникновении неисправности в цепи позисторов (при обрыве и замыкании цепи термодетекторов).

Устройство УВТЗ-5 состоит из усовершенствованной схемы температурной защиты, собранной на транзисторах VT1–VT6, и схемы контроля напряжения нулевой последовательности (искусственной звезды из трех резисторов R1, R2, R3) (рис. 11.7).

Трансформатор TV служит для развязки фазы питания и искусственной звезды. Схема температурной защиты имеет значительно более высокую помехоустойчивость, чем УВТЗ-1М.

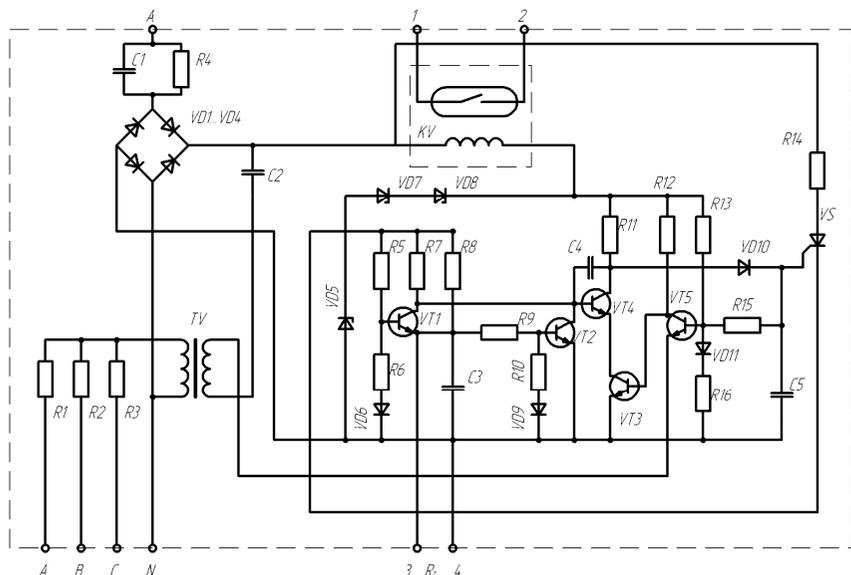


Рис. 11.7. Принципиальная схема устройства защиты УВТЗ-5

Схема работает следующим образом. При температуре обмоток электродвигателя, не превышающей допустимую температуру, и при симметричной системе напряжений трехфазной сети ток поступает на схему через катушку KV герконового реле. При этом транзисторы VT1, VT2, VT5 и тиристор VS закрыты, а транзисторы VT3 и VT4 открыты, герконовое реле KV включено.

При аварийном увеличении температуры обмоток увеличивается сопротивление позисторов. Транзистор VT2 открывается, а VT4 закрывается. Тиристор VS открывается и шунтирует KV. Контакт герконового реле размыкается, что приводит к отключению электродвигателя.

При возникновении неполнофазного режима на первичной обмотке трансформатора TV появляется напряжение нулевой последовательности. Транзистор VT5 открывается, а VT4 закрывается, тиристор VS открывается и шунтирует катушку KV. Это приводит к отключению электродвигателя.

Таким образом, УВТЗ-5 защищает электродвигатель от перегрева и моментально реагирует на обрыв фазы, не допуская опасной работы электродвигателя в неполнофазном режиме.

Устройство встроенной температурной защиты УВТЗ-4 предназначено для защиты от перегрева асинхронных двигателей, применяемых в сельском хозяйстве.

Устройство работает в комплекте с тремя последовательно соединенными позисторами типа СТ14-2, встроенными между витками обмоток электродвигателя, отключая магнитный пускатель.

Устройство УВТЗ-4 имеет блок питания, состоящий из конденсаторов C₂ и C₃, выпрямительного моста VD6–VD9, сглаживающего фильтра C₁ и параметрического стабилизатора напряжения VD5 (рис. 11.8).

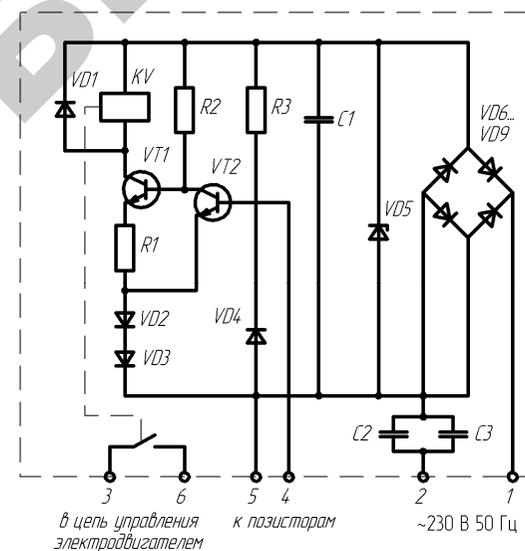


Рис. 11.8. Принципиальная электрическая схема УВТЗ-4

На стабилитроне VD5 сохраняется постоянное значение выпрямленного напряжения при колебаниях сетевого напряжения от 150 до 240 В. Исполнительное устройство состоит из реле KV, управляемого триггером из транзисторов VT1 и VT2.

Резистор R3, диод VD4 и позисторы, подключаемые к клеммам 4, 5, задают смещение на базу транзистора VT2. Смещение на базу транзистора VT1 обеспечивается резистором R1 и переходом коллектор-эмиттер-транзистора VT2.

В нормальном состоянии сопротивление позисторов незначительно, поэтому транзистор VT2 закрыт, а транзистор VT1 открыт.

По обмотке реле KV протекает коллекторный ток транзистора VT1, реле включено, двигатель находится под напряжением. На диодах VD2, VD3 создается падение напряжения, способствующее запираанию транзистора VT2.

При увеличении сопротивления позисторов, вызванного перегревом обмоток двигателя, транзистор VT2 открывается, а транзистор VT1 закрывается. В результате этого обмотка реле KV обесточивается и происходит отключение двигателя. Диоды VD2 и VD3 обеспечивают положительную обратную связь. Благодаря этому создается релейный эффект.

При отсутствии активных сопротивлений в цепи C₂, C₃ и VD6–VD9 возникает большой импульс тока, протекающий через диоды и стабилитрон VD5 при включении устройства в сеть, что отрицательно сказывается на надежности работы устройства.

Методика выполнения лабораторной работы

1. Используя общие сведения, изучить принцип действия температурных защит, конструкцию и характеристики первичных преобразователей, используемых в устройствах температурной защиты.

2. Ознакомиться с конструкцией устройств защиты, размещенных на стенде, и их первичных преобразователей. Для испытания первичных преобразователей температуры используется схема, состоящая из нагреваемого резистора R1 (рис. 11.9), цифрового милливольтметра PV и переключателя SA2. На этом резисторе закреплены термопара BE1, позистор Rt1 и термистор Rt2.

3. Провести испытания позистора (защиты УВТЗ-1) и термистора (защиты АТВ-229).

3.1. К гнездам 1 и 2 (рис. 11.9) подключить приборы для измерения сопротивлений.

3.2. Переключатель SA2 установить в позицию «термистор».

3.3. Включить выключатель SA1. При этом загорается световой индикатор HL1. На резисторе R1 выделяется тепло. Температуры позистора Rt1, термистора Rt2 и термопары BE1 увеличиваются. Записать показания милливольтметра и цифрового омметра в табл. 11.1.

3.4. Как только милливольтметр покажет 7 мВ, отключить нагреватель (HL1 погасает), а SA2 установить в позицию «позистор».

3.5. При остывании записывать показания милливольтметра и омметра в табл. 11.1 при тех же показаниях милливольтметра, что и при нагреве.

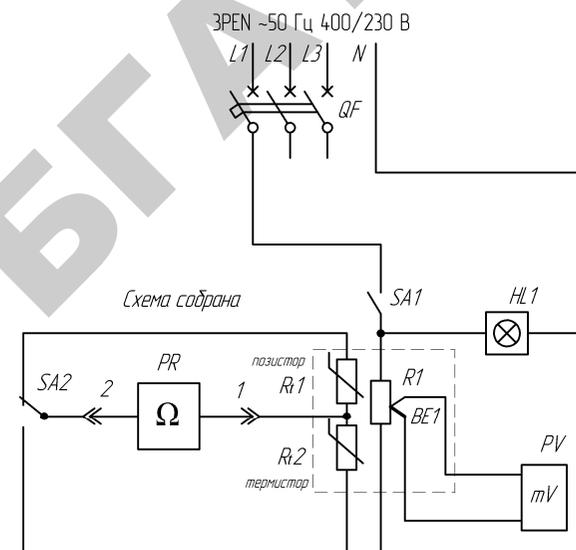


Рис. 11.9. Принципиальная электрическая схема испытаний первичных преобразователей температурных защит

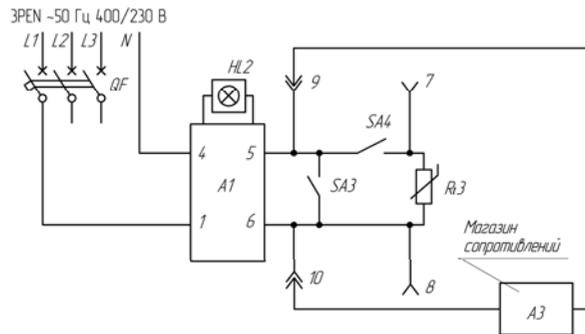
Таблица 11.1

Данные результатов испытания термистора RT33 и позистора СТ14

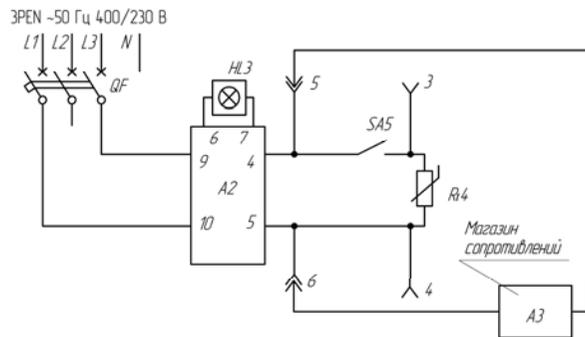
Показания милливольтметра, мВ	Опыт		Расчет Превышение температуры нагрева термодетекторов* τ, °С
	Сопротивление, кОм		
	термистора	позистора	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

* Определяется по графику (рис. 11.11).

4. Проверка работоспособности температурных защит производится путем имитации изменения сопротивления их термодетекторов с помощью магазина сопротивлений (рис. 11.10).



а



б

Рис. 11.10. Принципиальная электрическая схема проверки работоспособности температурных защит УВТЗ-1 (а) и АТВ-229 (б)

4.1. Для проверки защиты АТВ-229 отключить ее термистор $Rt3$ от устройства с помощью выключателя SA5.

4.2. К штекерным разъемам 5 и 6 подключить магазин сопротивлений. На нем установить сопротивление приблизительно 1700 Ом.

4.3. Защиту подключить в сеть на напряжение 400 В (клеммы 9 и 10). Загорается индикатор HL3.

4.4. Уменьшать сопротивление (через 10 Ом). Записать значение сопротивления, при котором защита срабатывает (реле включается, а HL3 погасает).

4.5. Установить на магазине сопротивление приблизительно 4500 Ом и, увеличивая его (через 10 Ом), добиться возвращения защиты в исходное состояние (HL3 загорается). Данные опыта записать в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Данные опытов по определению работоспособности защит УВТЗ-1 и АВТ-229

Тип защиты	Сопротивление, кОм, при котором защита		Превышение температуры* τ , °С, при которой защита	
	сработала	вернулась в исходное состояние	сработала	вернулась в исходное состояние
АВТ-229				
УВТЗ-1				

* Определяется по графику (рис. 11.11).

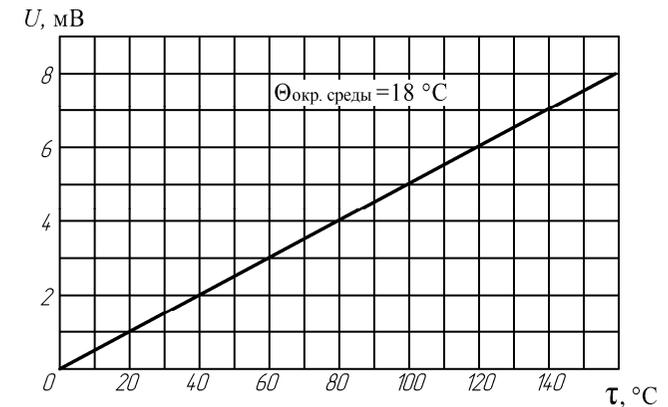


Рис. 11.11. График зависимости показаний цифрового милливольтметра в комплексе с термопарой от температуры превышения горячего спая термопары над температурой окружающей среды

4.6. При проверке работоспособности УВТЗ-1 отключить SA3 и SA4, подключить магазин сопротивлений к клеммам 9 и 10.

4.7. На УВТЗ-1 подать напряжение 230 В (клеммы 1 и 4).

4.8. Увеличивая сопротивление магазина от 2000 Ом (через 10 Ом), добиться отключения защиты (HL2 погасает). Записать это значение сопротивления магазина в табл. 11.2.

Лабораторная работа № 12

ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТОВ КОМПЛЕКСНОЙ ЗАЩИТЫ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Цель занятия: исследовать аппараты комплексной защиты трехфазного асинхронного электродвигателя.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с параметрами и характеристиками основных комплексных аппаратов защиты трехфазного асинхронного электродвигателя.
2. Изучить описание лабораторного стенда испытания комплексной защиты трехфазного асинхронного электродвигателя.
3. Провести испытание устройства защиты СиЭЗ-4а.
4. Построить защитную характеристику $t_{cp} = f(I)$ устройства защиты СиЭЗ-4а.

Теоретические сведения

Комплексность защиты – ее способность защищать электродвигатель во многих аварийных состояниях и режимах.

Универсальность защиты – ее возможность одним устройством защищать большое количество различных по мощности электродвигателей (например, имеющих номинальные токи от 5 до 25 А).

В настоящее время известны многие комплексные универсальные аппараты защиты трехфазных асинхронных электродвигателей. Они делятся на две большие группы: электронные и микропроцессорные.

Характеристика некоторых комплексных универсальных *электронных аппаратов защиты* указана в табл. 12.1.

Из табл. 12.1 можно сделать следующие выводы:

- 1) комплексные универсальные электронные защиты различных производителей являются токовыми;
- 2) наиболее простые электронные защиты имеют проходные датчики тока (устройства СиЭЗ, РЗД-3М, АЗД, ЗРВ10). Они защищают асинхронные электродвигатели в неполнофазном режиме, при перегрузке и в стопорном режиме. Питание их электронных схем организовано от токовых цепей защищаемого электродвигателя;

4.9. Уменьшать сопротивление магазина до момента включения защиты УТВЗ (HL2 загорается). Записать значение полученного сопротивления в табл. 11.2.

4.10. Проверка работоспособности УВТЗ-1 в производственных условиях может производиться также путем обрыва цепи термодатчиков (SA4 отключают, защита срабатывает) и замыкания цепи термодатчиков (SA3 включают, защита срабатывает). В обоих случаях индикатор HL2 должен погаснуть.

5. На основании проведенных исследований сделать вывод о работоспособности устройств температурных защит, представленных на лабораторном стенде.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Принципиальная электрическая схема одного из устройств температурной защиты (по выбору студента).
4. Табл. 11.1–11.2 с опытными и расчетными данными.
5. Графические зависимости $R = f(\tau)$ для позистора и термистора.

Контрольные вопросы

1. Объясните назначение всех элементов схемы (рис. 11.9 и 11.10).
2. Объясните, каким образом можно изменить температуру срабатывания в устройствах защиты АТВ-229 и УВТЗ-1.
3. Объясните устройство и принципиальную электрическую схему защиты АТВ-229.
4. Объясните устройство и принципиальную электрическую схему защиты УВТЗ-1М.
5. Как зависит нагрев обмоток от скольжения роторов электродвигателя?
6. Где, на Ваш взгляд, в обмотках электродвигателей следует устанавливать первичные преобразователи температуры?

- 3) электронные защиты имеют 3 недостатка:
- позволяют включать электродвигатель на заведомо неполнофазную сеть;
 - позволяют включать электродвигатель без проверки сопротивления изоляции обмотки перед пуском;
 - имеют неточную настройку номинального тока;
- 4) большие функциональные возможности имеют токовые электронные реле в сочетании с температурной защитой (СиЭЗ, РЭЗЭ-6, УЗОТЭ-2У, в некоторых исполнениях РЗД-1) и устройства защиты, контролирующие сопротивление изоляции перед пуском электродвигателя (РЭЗЭ-6, БТЗ1-1У, УЗ-ЭД, УЗОТЭ-2У, РЗД-1).

Таблица 12.1

Характеристика некоторых электронных токовых комплексных универсальных устройств защиты асинхронного электродвигателя

Марка защитного устройства, изготовитель	Защищаемые аварийные состояния АД	Примечания
1	2	3
СиЭЗ-4А, СиЭЗ-8-25 и СиЭЗ-20-80 (Беларусь, НПП «БИНАР», г. Витебск)	Неполнофазный режим, стопорный режим, перегрузка	На токи 0,2–8 А, 8–25 А, 20–80 А. Питание – от токовых цепей защищаемого электродвигателя. Контролируются токи трех фаз. Задание уставки тока – потенциометром при работающем электродвигателе. При необходимости включаются позисторы СТ14-1. Степень защиты – IP40. Рабочая температура – от –40 до +55 °С
ЗД-ЗМ (Россия, ОАО «ВНИИР», г. Чебоксары)	Неполнофазный режим, стопорный режим, перегрузка	На ток от 2,5 до 800 А (с трансформаторами тока). Контролируются токи трех фаз. Питание – от токовых цепей защищаемого электродвигателя. Задание уставки тока – потенциометром при работающем двигателе
АЗД (Украина, г. Донецк)	Неполнофазный режим, стопорный режим, перегрузка	На токи от 50 до 2500 А (с трансформаторами тока). Контролируется ток двух или трех фаз. Питание – от токовых цепей защищаемого электродвигателя. Задание уставки тока – потенциометром. Степень защиты – IP40

1	2	3
ЗРВ10 (Германия, Siemens)	Неполнофазный режим, стопорный режим, перегрузка	На токи до 100 А. Встроенные трансформаторы тока. Контролируются токи трех фаз. Питание – от токовых цепей защищаемого электродвигателя. Используется специальная схема ASIC – электронный аналог теплового биметаллического реле, имеющий тепловую память. Уставка тока задается по шкале до включения электродвигателя. Степень защиты – IP31
РЗД-1 (Россия, ОАО «ВНИИР», г. Чебоксары)	Неполнофазный режим, перегрузка, контроль изоляции перед пуском	На ток до 100 А со встроенными трансформаторами тока. При токе более 100 А – с внешними трансформаторами тока. Контролируются токи двух фаз. Задание уставки тока путем набора комбинации фиксированных дискретных уставок в двоичном коде
РЭЗЭ-6 (Украина, ООО «Тетра Ltd», г. Харьков)	Перегрузка, неполнофазный режим, перегрев обмотки, контроль минимальной нагрузки (сухого хода погружных электродвигателей), контроль изоляции перед пуском	На токи от 1 до 625 А в четырех диапазонах: 1–5 А; 5–25 А; 25–125 А; 125–625 А. Специальные датчики тока четырех типоразмеров. Контролируются токи двух фаз. Термодетектор – интегральная микросхема КТ1019СТ1. Задание уставки тока – потенциометром при работающем двигателе с использованием токоизмерительных клещей и вольтметра с пределом измерения 2 В. Степень защиты – IP30. Для защиты электродвигателей мощностью до 3 кВт используется реле РЭЗЭ-7
БТЗ1-1У (Россия, ОАО «Рикор Электроникс»)	Неполнофазный режим, перегрузка, обратное чередование фаз, контроль изоляции перед пуском	На токи от 0,7 от 600 А. Используются специальные датчики тока накладного типа. В дежурном (отключенном) положении контролируется $R_{из}$ и наличие напряжения по фазам, производится профилактическая сушка обмоток электродвигателя. Контролируются токи трех фаз. Задание уставки тока – потенциометром при работающем

1	2	3
		двигателе с использованием токоизмерительных клещей и вольтметра. Степень защиты – IP31
УЗ-ЭД (Россия, ОАО «Старорус-прибор», г. Старая Русса)	Предпусковой контроль сопротивления изоляции, перегрузка, неполнофазный режим, асимметрия токов	На токи от 2 до 165 А, шаг 1 А; от 20 до 680 А, шаг 4 А; от 5 до 37,4 А, шаг 0,2 А. Задание уставки тока – переключателями ВДМ. Контроль тока двух фаз. Диапазон уставок времени срабатывания при токе $1,3I_n$ составляет от 2 до 15 с, шаг 1 с. Имеется выдержка времени на повторный пуск. Переключение «звезда–треугольник». Степень защиты – IP40
УЗОТЭ-2У (Россия, ОАО «ОВЕН», г. Москва)	Неполнофазный режим, перегрузка, контроль температуры, изоляции перед пуском	Мощность защищаемых электродвигателей от 1,5 до 160 кВт. Контролируются токи трех фаз. Уставка тока задается по шкале с помощью потенциометра. Контролируется температура корпуса электродвигателя

Микропроцессорные устройства защиты электродвигателей в настоящее время являются наиболее надежными, точными и чувствительными многофункциональными устройствами токовой защиты в сравнении с известными устройствами защиты, построенными на аналоговой элементной базе электронных компонентов.

Наличие микропроцессора делает устройства защиты электродвигателя многофункциональными и обеспечивает такие полезные функции, как сохранение в памяти параметров аварийного отключения, наличие счетчиков аварийных отключений, автоматический сброс защиты через заданное время и некоторые другие, отсутствующие в устройствах с аналоговой схемотехникой.

В лучших устройствах защиты применен новый способ настройки уставок режимов – в двоичном коде или в цифрах с использованием светодиодного или жидкокристаллического индикатора. Это в сочетании с цифровой обработкой обеспечивает максимальную точность измерений (до 1,5 %). Высокая точность измерений – важное преимущество цифровых устройств защиты электродвигателя.

Некоторые комплексные универсальные микропроцессорные аппараты защиты указаны в табл. 12.2.

Таблица 12.2

Характеристика некоторых микропроцессорных токовых комплексных универсальных устройств защиты асинхронного электродвигателя

Марка защитного устройства, изготовитель	Защищаемые аварийные состояния АД	Примечания
1	2	3
Устройство защиты СиЭЗ-4И-1-25 (Беларусь, НПО «Бинар», г. Витебск), а также другие: СиЭЗ-1М, СиЭЗ-2М, СиЭЗ-4И, СиЭЗ-6	Контроль наличия и чередования фаз электросети; обрыв фазы; перегрузка; предпусковой контроль сопротивления изоляции; защита по минимальному току; перегрев	На токи от 1 до 25 А (ориентировочной мощностью от 0,35 до 12 кВт). Индикация токов по трем фазам или одной фазе по выбору; цифровая установка; индикация вида аварии; индикация токов аварийных режимов при срабатывании защиты; установка времятоковой характеристики защиты; установка времени задержки контроля времятоковой характеристики защиты на время пуска электродвигателя; цифровая установка тока защиты по минимальному току; возможность включения и отключения необходимых параметров защит. Порог срабатывания по сопротивлению изоляции перед пуском – $R_{из} < 0,5 \text{ МОм}$. Степень защиты – IP20. Габаритные размеры, не более – 110×90×70 мм
Микропроцессорное реле 3RB12 (Германия, Siemens)	Перегрузка; асимметрия токов; перегрев обмотки; контроль изоляции во время работы; самоконтроль	При токе до 100 А имеет встроенные проходные трансформаторы тока. При токах более 100 А используются внешние трансформаторы тока. Контролируются токи трех фаз. Класс защитной характеристики 5, 10, 15, 20, 25, 30. Задание уставки тока – потенциометром. Не имеет цифрового индикатора. Имеет функцию встроенного сброса, местного или дистанционного. Недостатком реле является отсутствие контроля сопротивления изоляции обмотки перед пуском

Продолжение таблицы 12.2

1	2	3
		электродвигателя и отсутствие контроля наличия трех фаз сети перед пуском. Степень защиты прибора – IP30
Микропроцессорное реле РДЦ-01 (Украина, ОАО «Электротехнический завод», г. Киев)	Неполнофазный режим; асимметрия токов; обратное чередование фаз; перегрузка; холостой ход; отклонение напряжения	На токи от 1 до 100 А и от 5 до 500 А (с трансформаторами тока). Дискретность уставок по току 0,1 А, 1 А, 10 А. Измеряются три тока. Реле имеет цифровой индикатор. Мониторинг по току и по напряжению по каждой фазе (шкала точности прибора – 2 %). Мониторинг напряжения проводится как перед включением электродвигателя, так и в процессе его работы. Индикация частоты сети. Количество настраиваемых автоматических повторных пусков в случае его аварийного отключения – 0–5 через 15 с, причем в момент отключения реле запоминает все измеряемые параметры (ток, напряжение). Счетчик моторесурса. Память уставок энергонезависима и может сохранять значения в течение всего срока эксплуатации (не менее 8 лет). Степень защиты – IP30. Условия эксплуатации: для исполнения УЗ, УХЛ2 – от –40 °С до +55 °С; для исполнения ТЗ – от –10 °С до +55 °С. <i>Недостатком</i> реле является отсутствие контроля сопротивления изоляции
Универсальные блоки защиты асинхронных электродвигателей УБЗ-301 (Россия, НПП «Новатек-Электро», г. Санкт-Петербург)	Неполнофазный режим; асимметрия токов; обратное чередование фаз; перегрузка; холостой ход; отклонение напряжения; защита по току утечки до и после включения	На токи 5–50 А, 10–100 А, 63–630 А. Измеряются два тока и дифференциальный ток утечки. Датчики тока внешние, тороидальные. Решается уравнение теплового баланса электродвигателя и определяется температура. Имеется возможность смещения времятоковой характеристики по оси токов и по оси времени. Блок УБЗ-301 имеет семь независимых регулировок. Для удобства пользования шлицы регулировочных потенциометров выведены на лицевую

Продолжение таблицы 12.2

1	2	3
		панель блока. Порог контроля сопротивления изоляции составляет 500 кОм. Устройство защиты имеет фиксированную уставку срабатывания по дифференциальному току утечки 1,5 А. Диапазон рабочих температур – от –35 °С до +55 °С. Степень защиты блока защиты – IP40. Блок обмена БО-01 позволяет осуществлять обмен и передачу информации на ПЭВМ по протоколу RS-485. Блок обмена БО-01 поставляется под заказ. Появился новый блок защиты УБЗ-302. Он имеет полный набор защит блока УБЗ-301. Дополнительно обеспечивает защиту от затяжного пуска и осуществляет контроль нагрева обмоток с помощью позисторов. Имеет встроенные трансформаторы тока, поэтому проводники питания электродвигателя пропускаются через специальные отверстия в корпусе устройства
Микропроцессорные реле защиты электродвигателей серии РЗ-01 (Беларусь, ООО «Энситех», г. Минск)	Токовые перегрузки; тепловые перегрузки (по тепловой модели); асимметрия токов и неполнофазный режим работы; потеря нагрузки	Номинальный ток реле составляет 2–5 А. При токах более 5 А требуются внешние трансформаторы тока. Встроенный ЖК-дисплей. Контроль текущих и аварийных значений токов, напряжений и других параметров. Энергонезависимая память. Сохраняются параметры 32 последних аварийных событий. Интерфейс RS-485. Температура эксплуатации от –20 °С до +55 °С. Степень защиты реле – IP64
Реле защиты РЗ-04-05 (Беларусь, ООО «Энситех», г. Минск)	Заклинивание ротора; перегрузка; потеря нагрузки; асимметрия токов; обрыв фазы;	Номинальный ток реле – 5 А. Измерительный диапазон токов – от 0,2 до 50 А. Погрешность измерения токов – $\pm 2\%$ в диапазоне токов 0,5–12,5 А и $\pm 5\%$ в остальном диапазоне. Реле применяется с внешними трансформаторами тока. Для АД мощностью от 1 до 110 кВт.

1	2	3
	превышение числа пусков; отклонение напряжения; контроль сопротивления изоляции	Контроль тока по трем фазам. Имеет дополнительно защиту от превышения тока при пуске электродвигателя, от токов КЗ, защиту от превышения или снижения заданного уровня на аналоговом входе, защиту от обрыва линий аналогового входа, блокировку повторного включения. Отсчет реального времени. Имеется счетчик наработки электродвигателя. Реле позволяет в реальном времени контролировать три тока, напряжение фазы А, небаланс токов, значение активной мощности, срабатывание защит, блокировки, время наработки электродвигателя, запас пусков в течение часа, время до разрешения очередного пуска в случае превышения числа пусков в час, значение величины по аналоговому входу, текущее время и дату. Архив четырех последних срабатываний. Интерфейс. Самодиагностика. Температура эксплуатации от -20 °С до +55 °С. Степень защиты оболочки реле – IP20
Устройство защиты электродвигателя УЗДР-8 (Россия, ООО «Крейтек», г. Санкт-Петербург)	Порядок следования фаз; обрыв фазы; выход напряжения за установленные пределы; перекос напряжения; перекос тока; перегрев обмотки	Диапазон рабочих токов с тремя трансформаторами тока ASM-100 составляет 5–100 А. Точность показаний прибора – не ниже 5 %. После включения устройство проверяет напряжения фаз сети, порядок их чередования и ток утечки. Температура аварийного отключения регулируется от 10 °С до 125 °С. Устройство защиты электродвигателя разделено на два модуля: датчиков тока и электронный. Предельно допустимые сопротивление изоляции (300 кОм) и температура превышения обмотки (80–90 °С) записаны в память устройства и могут быть изменены производителем по требованию заказчика

1	2	3
Реле контроля и защиты РКЗМ-R (Россия, ООО «Сиб-ЭлектроЗащита», г. Красноярск)	Перегрузка; недогрузка по току; обрыв фазы; асимметрия токов; контроль сопротивления изоляции	Пределы контролируемых токов: РКЗМ-25-R – от 2 до 25 А, шаг 0,1 А; РКЗМ-50-R – от 5 до 50 А, шаг 0,2 А; РКЗМ-250-R – от 20 до 250 А, шаг 1 А; РКЗМ-500-R – от 40 до 500 А, шаг 2 А; РКЗМ-900-R – от 80 до 900 А, шаг 4 А. Контроль токов в трех фазах. Имеет повышенную устойчивость к перенапряжениям сети; перед включением производится оценка сопротивления изоляции (500 кОм ± 10 %). Реле предназначено для работы совместно с пультом управления ПУ-02. Реле регистрирует и сохраняет в памяти значения контролируемых токов и режимных уставок на момент отключения, а также сохраняет информацию о причине 255 аварий
Микропроцессорный блок защиты БЗ-031М (Россия, «Электротрейд», г. Липецк)	Перегрузка; потеря нагрузки; асимметрия токов; обрыв фаз; блокировка электродвигателя между пусками	Диапазон рабочего тока: 0–200 А, 100–900 А. Выносные датчики тока двух диапазонов. Контроль количества срабатываний. Двухстрочный ЖКИ. Фильтр питания выдерживает броски напряжения до 470 В. Температура воздуха от 0 °С до +80 °С или от -20 °С до +80 °С (в зависимости от модификации). Степень защиты корпуса блока защиты – IP54. Металлический корпус

Методика выполнения лабораторной работы

1. На основании материала, изложенного в общих сведениях, ознакомиться с параметрами и характеристиками основных комплексных аппаратов защиты трехфазного асинхронного электродвигателя.

2. Изучить описание лабораторного стенда испытания комплексной защиты трехфазного асинхронного электродвигателя.

В рамках лабораторной работы проводится исследование комплексного устройства защиты СиЭЗ-4а, расположенного на лабо-

роторной стойке. Устройство СиЭЗ-4а настроено на ток установки 4 А. Под лабораторным столом находится регулируемая индукционная катушка. Она представляет собой заторможенный асинхронный двигатель с фазным ротором. Индукционная катушка используется для регулировки тока, пропускаемого через защитное устройство. Поворот ротора индукционной катушки обеспечивает изменение индуктивного сопротивления и тока в цепи. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки изображена на рисунке.

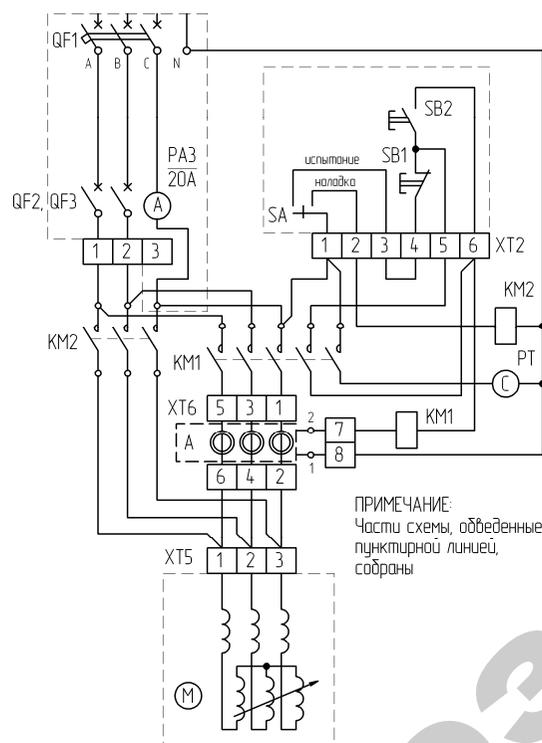


Рис. Принципиальная электрическая схема стенда для испытания комплексного устройства защиты СиЭЗ-4а: А – устройство СиЭЗ-4а

3. Провести испытание устройства защиты СиЭЗ-4а.

Испытание устройства СиЭЗ-4а имеет цель – построить защитную характеристику $t_{cp} = f(I)$.

3.1. Собрать схему согласно рисунку.

3.2. Включить стенд автоматическим выключателем QF1.

3.3. Переключателем SA установить режим «Наладка».

3.4. При помощи рукоятки, закрепленной на валу индукционной катушки (находится под столом стенда), установить ток испытания 4А. Следует обратить внимание, что в режиме «Наладка» ток проходит «мимо» устройства СиЭЗ (через силовые контакты контактора KM2), однако в режиме «Испытание» такой же ток будет проходить через устройство СиЭЗ.

3.5. Перевести переключатель SA в режим «Выключено». Обнулить секундомер РТ.

3.6. Перевести переключатель SA в режим «Испытание». В режиме испытаний необходимо дополнительно нажать кнопку «Пуск» (SB2), которая включает контактор KM1.

3.7. Дождаться срабатывания устройства защиты и записать время срабатывания в табл. 12.3.

3.8. Повторить п. 3.3–3.7 для токов испытания, указанных в табл. 12.3. Результаты испытаний записать в табл. 12.3.

4. На основании опытных данных построить защитную характеристику $t_{cp} = f(K)$ устройства защиты СиЭЗ-4а. Кратность тока испытаний вычислить как $K = I / I_{н.у} = I / 4$.

5. Сравнить полученные значения времени срабатывания t_{cp} с паспортными данными устройства СиЭЗ-4а и сделать выводы об исправности данного устройства защиты.

Таблица 12.3

Данные испытания устройства защиты СиЭЗ-4а

Ток испытания I , А	Время срабатывания t_{cp} , с	Кратность тока испытания K
4		
5		
6		
7		
8		
10		
12		
14		

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема лабораторной установки (рис.).
4. Табл. 12.3 с опытными и расчетными данными.
5. Графическая зависимость $t_{\text{ср}} = f(K)$.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под комплексностью и универсальностью защиты?
2. Какие комплексные электронные защиты выпускаются в Беларуси?
3. Опишите комплексную электронную защиту СиЭЗ.
4. Опишите комплексную электронную защиту ЗД-ЗМ.
5. Какие недостатки имеют комплексные электронные защиты электродвигателей?
6. Опишите комплексную микропроцессорную защиту СиЭЗ-4И-1-25.
7. Какие преимущества обеспечивают микропроцессорные защиты электродвигателей?
8. Изобразите принципиальную электрическую схему включения устройства СиЭЗ-4а в схему ручного дистанционного управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурин, В. В. Аппараты управления и защиты электрооборудования : учеб. пособие / В. В. Гурин, Н. А. Равинский. – Минск : ИВЦ Минфина, 2016. – 384 с.
2. Гурин, В. В. Автоматическая защита электрооборудования. В 2 ч. Ч. 1. Защита электрических цепей : учеб.-метод. пособие / В. В. Гурин. – Минск : БГАТУ, 2010. – 360 с.
3. Гурин, В. В. Автоматическая защита электрооборудования. В 2 ч. Ч. 2. Защита асинхронных трехфазных электродвигателей : учеб.-метод. пособие / В. В. Гурин. – Минск : БГАТУ, 2011. – 452 с.
4. Автоматическая защита электрооборудования : практикум / сост.: В. В. Гурин, Е. В. Лавцевич, П. А. Равинский. – Минск : БГАТУ, 2009. – 196 с.
5. Елкин, В. Д. Электрические аппараты : учебное пособие для учащихся ССУЗов / В. Д. Елкин, Т. В. Елкина. – Минск : Дизайн ПРО, 2003. – 168 с.
6. Чунихин, А. А. Электрические аппараты: учебник для вузов / А. А. Чунихин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1988. – 720 с.
7. Герман-Галкин, С. Г. Силовая электроника: лабораторные работы на ПК / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : Учитель и ученик ; КОРОНА принт, 2002. – 304 с.
8. Попков, О. З. Основы преобразовательной техники : учеб. пособие для вузов / О. З. Попков. – 2-е изд., стереот. – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 200 с.
9. Розанов, Ю. К. Электрические и электронные аппараты : учебник для вузов / под ред. Ю. К. Розанова. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Информэлектро, 2001. – 420 с.
10. СТБ ГОСТ Р 50807–2003. Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытаний. – Введ. : 01.09.2003. – Минск : БелГИСС, 2003. – 62 с.
11. ГОСТ 17703–72. Аппараты электрические коммутационные. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 01.07.1973. – М. : Издательство стандартов, 1973. – 20 с.
12. ГОСТ Р 51992–2002. Устройства для защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных

системах. – Введ. 01.01.2004. – М. : Издательство стандартов, 2004. – 48 с.

13. Таев, И. С. Электрические аппараты управления : учебник для вузов по спец. «Электрические аппараты» / И. С. Таев. – 2-е изд. – М. : Высшая школа, 1984. – 247 с.

14. ГОСТ 30011.4.1–96. Низковольтная аппаратура распределения и управления. Часть 4. Контактторы и пускатели. Раздел 1. Электро-механические контактторы и пускатели. – Введ. 01.03.1999. – Минск : Госстандарт, 2011. – 60 с.

Учебное издание

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Учебно-методическое пособие

Составители:

Равинский Николай Александрович,
Петрович Валентина Леонидовна

Ответственный за выпуск *В. А. Дайнеко*
Редактор *Д. А. Значёнок*
Корректор *Д. А. Значёнок*
Компьютерная верстка *Д. А. Значёнок*
Дизайн обложки *Д. О. Сенькевич*

Подписано в печать 26.02.2018. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 8,60. Уч.-изд. л. 6,72. Тираж 70 экз. Заказ 20.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.