




КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВПО «КГЭУ»)

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по УМР

  
В.А. Дыганов  
« 28 » июне 2011 г.

### ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения текущего контроля успеваемости  
и промежуточной аттестации студентов  
по итогам освоения дисциплины

#### Б3.ДВ4.2 «Промышленная автоматика и системы энергоснабжения»

(код, наименование дисциплины)

основной образовательной программы

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и  
учреждений

(наименование ООП)

по направлению подготовки

140400 Электроэнергетика и электротехника

(шифр, наименование направления подготовки)

Квалификация выпускника

БАКАЛАВР

(бакалавр, магистр)

Форма обучения

очная

(очная, очно-заочная, заочная)

Казань – 2011 г.

## **1. Цель и задачи текущего контроля и промежуточной аттестации студентов по дисциплине «Промышленная автоматика и системы энергоснабжения».**

*Цель текущего контроля* – систематическая проверка степени освоения программы дисциплины «Промышленная автоматика и системы энергоснабжения», уровня сформированности знаний, умений, навыков, компетенций на текущих занятиях.

*Задачи текущего контроля:*

1. определение индивидуального учебного рейтинга студентов;
2. своевременное выполнение корректирующих действий по содержанию и организации процесса обучения; обнаружение и устранение пробелов в усвоении учебной дисциплины;
3. подготовки к промежуточной аттестации.

В течение семестров при изучении дисциплины реализуется комплексная система поэтапного оценивания уровня освоения – балльно-рейтинговая система. За каждый вид учебных действий студенты получают определенное количество баллов. В течение семестра студент может набрать от 35 до 60-ти баллов в зависимости от уровня освоения программы образования: базового, продвинутого и высокого.

*Цель промежуточной аттестации* – проверка степени усвоения студентами учебного материала за время изучения дисциплины, уровня сформированности компетенций после завершения изучения дисциплины. Аттестация проходит в форме зачета. При полном ответе на все задания студент получает до 40 баллов.

*Задачи промежуточной аттестации:*

1. определение уровня усвоения учебной дисциплины;
2. определение уровня сформированности элементов общекультурных, профессиональных и профильно-специализированных компетенций.

## **2. Основное содержание текущего контроля и промежуточной аттестации студентов**

В результате изучения дисциплины «Промышленная автоматика и системы энергоснабжения» формируются следующие компетенции или их составляющие:

- готовность к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции (ОК-7);
- способность и готовность использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной графики в своей предметной области (ПК-1);
- готовность участвовать в работе над проектами электроэнергетических и электротехнических систем и отдельных их компонентов (ПК-8);
- способность рассчитывать режимы работы электроэнергетических установок различного назначения, определять состав оборудования и его параметры, схемы электроэнергетических объектов (ПК-16);
- готовность осуществлять оперативные изменения схем, режимов работы энергообъектов (ПК-25);
- способность применять фундаментальные знания, полученные по общетехническим дисциплинам, к конкретным задачам проектирования и эксплуатации электрического хозяйства предприятий, организаций и учреждений (ПСК-1);
- способность пользоваться технической и справочной литературой, материалами фирм-изготовителей для выбора современных технических решений при проектировании и эксплуатации электрического хозяйства (ПСК-2);

- способность прорабатывать варианты проекта и проводить их технико-экономическое сравнение (ПСК-7);
- готовность проектировать рациональные схемы электроснабжения производственных объектов на среднем и низком напряжении с учетом возможных перспектив развития (ПСК-8).

## 2.1. Основное содержание текущего контроля

Коды компетенций	Совокупность ожидаемых результатов образования студентов в форме компетенций по завершении модуля/освоения дисциплины	Содержание оценочных заданий для выявления сформированности компетенций у студентов по завершении модуля/освоения дисциплины		
		Базовый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
<b>Общекультурные компетенции</b>				
ОК-7	<b>Знать:</b> основные источники научно-технической информации по электроэнергетическому оборудованию	Устный опрос Выполнение лабораторной работы РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Тесты РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Индивидуальное задание Тесты РГР
<b>Профессиональные компетенции</b>				
ПК-1	<b>Владеть:</b> программными продуктами для подготовки презентации	Устный опрос Выполнение лабораторной работы РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Тесты РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Индивидуальное задание Тесты РГР
ПК-8	<b>Уметь:</b> работать над проектами электроэнергетических и электротехнических систем и отдельных компонентов защит	Устный опрос Выполнение лабораторной работы РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Тесты РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Индивидуальное задание Тесты РГР
ПК-16	<b>Знать:</b> компьютерные программы для расчета и проектирования систем схем внутриводского электроснабжения	Устный опрос Выполнение лабораторной работы РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Тесты РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Индивидуальное задание Тесты РГР
ПК-25	<b>Уметь:</b> осуществлять оперативные изменения	Устный опрос Выполнение	Устный опрос Выполнение лабораторной	Устный опрос Выполнение лабораторной

	режимов работы энергообъектов	лабораторной работы РГР	работы Тесты РГР	работы Индивидуальное задание Тесты РГР
<b>Профильно-специализированные компетенции</b>				
ПСК-1	<b>Владеть:</b> конкретными задачами проектирования и эксплуатации электрического хозяйства предприятий, организаций и учреждений	Устный опрос Выполнение лабораторной работы РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Тесты РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Индивидуальное задание Тесты РГР
ПСК-2	<b>Владеть:</b> способностью пользоваться технической и справочной литературой, материалами фирм-изготовителей для выбора современных технических решений при проектировании и эксплуатации электрического хозяйства	Устный опрос Выполнение лабораторной работы РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Тесты РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Индивидуальное задание Тесты РГР
ПСК-7	<b>Уметь:</b> прорабатывать варианты проекта и проводить их технико-экономическое сравнение	Устный опрос Выполнение лабораторной работы РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Тесты РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Индивидуальное задание Тесты РГР
ПСК-8	<b>Уметь:</b> проектировать рациональные схемы электроснабжения производственных объектов на среднем и низком напряжении с учетом возможных перспектив развития	Устный опрос Выполнение лабораторной работы РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Тесты РГР	Устный опрос Выполнение лабораторной работы Индивидуальное задание Тесты РГР

## 2.2. Основное содержание промежуточной аттестации студентов

Коды компетенций	Совокупность ожидаемых результатов образования студентов в форме компетенций по завершении модуля/ освоения дисциплины	Содержание оценочных заданий для выявления сформированности компетенций у студентов по завершении модуля/освоения дисциплины		
		Базовый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
<b>Общекультурные компетенции</b>				
ОК-7	<b>Знать:</b> основные источники научно-технической информации по электроэнергетическому оборудованию.	Зачет	Зачет	Зачет
<b>Профессиональные компетенции</b>				
ПК-1	<b>Владеть:</b> программными продуктами для подготовки презентации	Зачет	Зачет	Зачет
ПК-8	<b>Уметь:</b> работать над проектами электроэнергетических и электротехнических систем и отдельных компонентов защит	Зачет	Зачет	Зачет
ПК-16	<b>Знать:</b> компьютерные программы для расчета и проектирования защиты систем электроснабжения	Зачет	Зачет	Зачет
ПК-25	<b>Уметь:</b> осуществлять оперативные изменения режимов работы энергообъектов	Зачет	Зачет	Зачет
<b>Профильно-специализированные компетенции</b>				
ПСК-1	<b>Владеть:</b> конкретными задачами проектирования и эксплуатации электрического хозяйства предприятий, организаций и учреждений	Зачет	Зачет	Зачет
ПСК-2	<b>Владеть:</b> способностью пользоваться технической и справочной литературой, материалами фирм-изготовителей для выбора	Зачет	Зачет	Зачет

	современных технических решений при проектировании и эксплуатации электрического хозяйства			
ПСК-7	<b>Уметь:</b> прорабатывать варианты проекта и проводить их технико-экономическое сравнение	Зачет	Зачет	Зачет
ПСК-8	<b>Уметь:</b> проектировать рациональные схемы электроснабжения производственных объектов на среднем и низком напряжении с учетом возможных перспектив развития	Зачет	Зачет	Зачет

### **3. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

Оценка текущей успеваемости и промежуточной аттестации студентов по итогам освоения дисциплины «Промышленная автоматика и системы энергоснабжения» производится при помощи следующих оценочных средств:

#### **3.1. Входной контроль**

Входной контроль проводится в начале семестра. Он представляет собой контрольный срез знаний из 10 основных вопросов, ответы на которые студент должен знать в результате изучения предыдущих дисциплин. Контроль проводится по оценке остаточных знаний по дисциплинам, «Промышленная автоматика и системы энергоснабжения» базируется на следующих дисциплинах: «Электротехническое и конструктивное материаловедение», «Теоретические основы электротехники», «Физика», «Высшая математика», «Информатика» и учебно-производственная практика. Поставленные вопросы требуют точных и коротких ответов. Входной контроль проводится в письменном виде на первой лекции семестра в течение 15-20 минут. Итоги входного контроля используются для корректировки методик проведения лекционных и практических занятий, а также для определения уровня освоения программы образования: базового, продвинутого и высокого. Однако студент в праве сам выбирать, по программе какого уровня будет выполняться его работа.

#### ***Список вопросов входного контроля:***

1. Первообразная. Неопределенный интеграл. Определение.
2. Определители и матрицы второго порядка.
3. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Силовые линии. Поле точечного заряда. Принцип суперпозиции.
4. Мощность в цепи переменного тока.

5. Метод контурных токов.
6. Цепи трехфазного тока. Соединение звездой и треугольником.
7. Преобразование схем электрических цепей. Последовательное и параллельное соединение.
8. Методы создания и оформления программных средств.
9. Назначение программных средств, их классификация, состав.
10. Общие сведения о магнитных свойствах материалов.
11. Пробой диэлектриков, общая характеристика явления пробоя.
12. Сформулировать термин - короткое замыкание.
13. Основные виды ненормальных режимов.

### 3.2. Контроль текущей самостоятельной работы

Данный вид контроля представляет собой короткие задания, которые выполняются на лабораторных работах в течение 10-15 минут. Проверяются знания текущего материала: уравнения, формулировки законов, основные понятия и определения; умения применять эти законы для решения практических задач.

Текущий контроль проводится в конце каждого учебного модуля.

Для **базового уровня** он представляет собой ответы на контрольные вопросы (устный опрос), выполнение лабораторной работы и РГР.

Для **продвинутого уровня** он включает в себя контроль по базовому уровню, а также выполнение тестовых заданий.

Для **высокого уровня** он включает в себя контроль по базовому и продвинутому уровням, а также выполнение индивидуального задания.

В каждом учебном модуле студенту выдается задание, состоящее из 3 позиций: 1 задание из базового уровня; 2 – из продвинутого; 3 – из высокого. За каждое правильно выполненное задание присваивается определенное количество процентов. Суммарно студент может получить до 100% согласно шкале оценивания результатов.

#### Критерии оценивания результатов

Номер задания	Критерии оценки	Проценты
1	Правильность ответа на устный опрос, выполнения лабораторной работы и РГР	0-45
2	Правильность ответа на устный опрос и тесты, правильность выполнения лабораторной работы и РГР	0-70
3	Правильность ответа на устный опрос и тесты, правильность выполнения лабораторной работы, РГР и индивидуального задания	0-100

#### Шкала оценивания результатов

Оценка	Проценты
удовлетворительно	35-50
хорошо	50-74
отлично	75-100

#### 3.2.1. Устный опрос

Устный опрос проводится в начале лекционных и практических занятий по материалам предыдущих занятий. Количество опрошенных должно быть 100% к началу изучения следующего раздела дисциплины.

Ответы на вопросы должны быть точными и краткими. За правильный ответ студент получает **2 балла**.

#### ***Перечень контрольных вопросов для устного опроса***

1. Обозначить принципы построения систем РЗиА.
2. Требования к системам РЗиА.
3. Определить основные решаемые задачи выполняемые РЗиА.
4. Основные повреждения ЭО.
5. Сформулировать необходимость РЗиА.
6. Назвать основные режимы работы ЭО.
7. Опасность возникновения режим перегрузки.
8. Опасность возникновения режим короткого замыкания.
9. Определить необходимость и применимость реле тока
10. Определить необходимость и применимость реле напряжения
11. Определить необходимость и применимость реле времени
12. Определить необходимость и применимость промежуточного реле
13. Определить необходимость и применимость указательного реле

### **3.2.2. Выполнение Лабораторных работ**

На лабораторных занятиях студенту предлагается собрать электрическую схему, исследовать реле или защиту электродвигателя и получить значения измеряемых параметров, оформить отчет, ответить на контрольные вопросы каждой лабораторной работы (см. *Приложение 1*).

Для защиты лабораторной работы студент должен ответить на контрольные вопросы, в случае правильных ответов более 60 % студент получает зачет.

#### ***Темы лабораторных работ***

1. Исследование реле максимального тока.
2. Исследование электромагнитного реле напряжения РН-53.
3. Исследование индукционного реле РТ-81.
4. Исследование реле времени с анкерным механизмом.
5. Исследование работы магнитного пускателя с тепловым реле и АВР.
6. Защита и автоматика электродвигателей напряжением до 1 кВ.
7. Защита электродвигателя от понижения напряжения.

### **3.2.3 Выполнение РГР**

Данный вид контроля за учебной деятельностью студентов является итоговой оценкой практической и самостоятельной работы за учебный семестр. Выполненная РГР является допуском к промежуточной аттестации и оценивается оценкой. Студент не допускается к промежуточной аттестации, если не сдана расчетно-графическая



работа, а также в случае недобора баллов согласно балльно-рейтинговой системы (менее 35).

Задание на расчетно-графическую работу выдается студенту в начале семестра на первом практическом задании.

Содержание и варианты заданий для выполнения РГР приведено в **приложении 2**.

#### **Критерии оценивания и оценки**

Уровень	Критерии оценивания	Оценка
Базовый	правильность выполнения 50-60% РГР, правильность ответов на устные вопросы 50%	3 (удовл.)
Продвинутый	правильность выполнения 60-80% РГР, правильность ответов на устные вопросы 75%	4 (хор.)
Высокий	правильность выполнения 80-100% РГР, правильность ответов на устные вопросы 100%	5 (отл.)

#### **3.2.4 Тестирование**

Тестирование проводится в конце каждого учебного модуля. Тесты содержат от 10 до 20 вопросов в зависимости от учебного модуля (1 модуль – 10 заданий; 2 модуль- 14 заданий; 3 модуль – 16 заданий; 4 модуль – 20 заданий).

Оценка результатов тестирования осуществляется как зачет/незачет. Требуемое количество правильных ответов для высокого уровня приведено в таблице:

Уровень освоения	1 модуль	2 модуль	3 модуль	4 модуль
Высокий	8-10	12-14	14-16	18-20

Комплект тестовых заданий приведен в **приложении 3**.

#### **3.2.5 Индивидуальное задание**

Защита индивидуального задания проводится устной форме в конце занятия. На защиту отводится 3-5 минут. На защите студент в праве использовать любые средства представления материала, например, презентацию, дискуссию. Контроль выполнения индивидуальных заданий осуществляется проверкой отчётов, выставлением баллов и проводится в конце семестра. Сложность индивидуального задания зависит от трудности выбранной темы и увеличивается по возрастающей в зависимости от выбранного уровня усвоения: базовый, продвинутый, высокий. В зависимости от качества предоставления материала выставляются 2-10 баллов. Для индивидуального задания базового уровня максимально может быть получено 5 баллов, продвинутого – 8, высокого – 10.

Отчёты по индивидуальным заданиям представляются в виде рефератов и заполнения глоссария с разной степенью сложности, выполненных в соответствии с утверждёнными правилами на бумажном формате А-4. Они должны содержать: титульный лист, содержание, текст задания, основную часть, заполненный элемент глоссария (5-10 терминов), выводов и списка литературных источников. Объём не

должен превышать 5-10 стр. Требования к оформлению текста: шрифт – Times New Roman; размер шрифта – 14 пт; выравнивание – по ширине; абзацный отступ – 1,25; поля – сверху 2 см, снизу – 2 см, справа 1,5 см, слева 2,5 см; интервал – 1,5.

### **Тематика индивидуальных заданий**

#### **Базовый уровень**

1. Последовательность операций с применением отделителя и короткозамыкателя.
2. Принцип построения МТЗ.
3. Принцип построения защиты цехового трансформатора.
4. Устройство и назначение газового реле.
5. Необходимость защиты трансформатора от перегрузки.

#### **Продвинутый уровень**

1. Источники оперативного тока и напряжения.
2. Принцип работы дифференциальной защиты.
3. Принцип работы МТЗ с пуском по напряжению.
4. Принцип работы схемы газовой защиты.
5. Работа защиты в режиме КЗ на СШ-10кВ.

#### **Высокий уровень**

1. Последовательность переключений при повреждении силового трансформатора.
2. Назначение цепи блокировки отделителя.
3. Объяснить положение контактов цепи блокировки ОД в нормальном режиме.
4. Объяснить целесообразность применения ОД и КЗ взамен выключателя.
5. Назначение УЗ и батареи конденсаторов.

#### **Перечень индивидуальных заданий:**

1. Существующие методы защиты электрооборудования (ЭО);
2. Основные направления развития современных систем защиты ЭО;
3. Концепция замены морально устаревшей элементной базы на современную;
4. Микропроцессорная система защиты и противоаварийной автоматики;
5. Необходимость резервирования РЗиА;
6. Расчетные и лабораторные методы определения параметров срабатывания защит;
7. Преимущественность автоматизированных систем управления и защит;
8. Производители современных модулей защиты ЭО;
9. Устройство блоков РЗиА;
10. Перспективы развития систем автоматизации управления СЭС.

### **Зачет с оценкой**

Зачет является итоговой формой оценки знаний студентов, приобретённых в течение обучения. При подготовке к сдаче зачету студентам выдается перечень вопросов.

#### **Критерии оценивания и оценки**

Номер задания	Критерии оценки	Проценты
---------------	-----------------	----------

Базовый	Правильность письменного ответа на два вопроса, знание схемы, выполнение лабораторной работы и РГР	3 (удовл.)
Продвинутый	Правильность письменного ответа на два вопроса, знание схемы, выполнение лабораторной работы и РГР, тесты	4 (хор.)
Высокий	Правильность письменного ответа на два вопроса, знание схемы, тесты, правильность выполнения лабораторной работы, РГР и индивидуального задания	5 (отл.)

### ***Базовые вопросы***

1. Показать на схеме защита силового трансформатора 110/10 кВ ненормальные режимы работы электрооборудования.
2. Показать на схеме защита силового трансформатора 110/10 кВ аварийные режимы работы электрооборудования.
3. Показать на схеме защита силового трансформатора 110/10 кВ виды повреждений и способы защиты от них.
4. Рассказать по схеме защита силового трансформатора 110/10 кВ принцип построения структурной схемы защиты силового трансформатора.
5. Показать на примере схемы защита силового трансформатора 110/10 кВ защиту с реле прямого действия.

### ***Вопросы для продвинутого уровня***

6. Объяснить на примере схемы защита силового трансформатора 110/10 кВ назначение батареи конденсаторов.
7. Рассказать на примере схемы защита силового трансформатора 110/10 кВ последовательность операций при отключении поврежденного трансформатора с применением отделителя и короткозамыкателя.
8. Рассказать на примере схемы защита силового трансформатора 110/10 кВ принцип построения МТЗ.
9. Объяснить принцип построения защиты цехового трансформатора 10/04 кВ.
10. Рассказать на примере схемы защита силового трансформатора 110/10 кВ устройство и назначение газового реле.

### ***Высокий уровень***

1. Объяснить на примере схемы защита силового трансформатора 110/10 кВ существующие источники оперативного тока и напряжения.
2. Объяснить на примере схемы защита силового трансформатора 110/10 кВ принцип работы дифференциальной защиты трансформатора 110/10 кВ.
3. Объяснить на примере схемы защита силового трансформатора 110/10 кВ принцип работы МТЗ с пуском по напряжению трансформатора 110/10 кВ.
4. Объяснить на примере схемы защита силового трансформатора 110/10 кВ принцип работы схемы газовой защиты трансформатора 110/10 кВ.
5. Объяснить на примере схемы защита силового трансформатора 110/10 кВ работу схемы в режиме КЗ на СШ-10кВ.

## Приложение 1. Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы по дисциплине «Основы автоматизация управления системами энергоснабжения» являются одним из видов учебных занятий, обеспечивающих связь между теорией и практикой, знакомящих студентов с конструкциями электрических аппаратов, реле.

Основной задачей лабораторных занятий является проработка и закрепление лекционного материала. Также важным является обучение студентов методике эксперимента, обработке экспериментальных исследований, их анализу и сравнению с теоретическими положениями.

Данное руководство может быть использовано как дополнительный материал к лекционному курсу.

### Назначение, параметры и источники питания релейной защиты

**Релейной защитой** называется совокупность специальных устройств и средств (реле, измерительные трансформаторы и другие аппараты), обеспечивающих автоматическое отключение поврежденной части электрической установки или сети. Если повреждение не представляет для установки непосредственной опасности, то релейная защита должна приводить в действие сигнальные устройства, не отключая установку.

Основные условия надежной работы релейной защиты следующие:

а) обеспечение **селективности**. Селективностью называется свойство защиты, обеспечивающее отключение при к.з. только поврежденного элемента системы с помощью выключателей. Селективность не исключает возможности срабатывания защит как резервных в случаях отказа выключателей или защит смежных поврежденных элементов.

Селективность срабатывания устройства защиты при внутренних к.з. характеризуется его защитоспособностью и быстротой срабатывания. **Защитоспособность** – это свойство (способность) защиты защищать весь элемент при всех учитываемых видах к.з.

б) достаточная **чувствительность** ко всем видам повреждений на защищаемой линии и на линиях, питаемых от нее, а также к изменению в связи с этим параметров (тока, напряжения и др.), что оценивается коэффициентом чувствительности;

в) максимальная простота схем с наименьшим числом аппаратов и достаточная **надежность** и **быстродействие**;

г) наличие **сигнализации** о неисправностях в цепях, питающих аппараты релейной защиты.

Основными параметрами схем релейной защиты являются:

а) ток срабатывания защиты  $I_{ср.з}$  и ток срабатывания реле  $I_{ср.р}$  - минимальные токи, при которых надежно срабатывает защита.

б) надежность действия защиты проверяется по коэффициенту чувствительности  $k_{ч}$ , величина которого определяется видом защиты.

По своему назначению, выполнению, роду величины, вызывающей срабатывание, способу включения воспринимающей части, способу воздействия исполнительной части на выключатель может быть проведена следующая классификация реле.

По назначению реле подразделяются на *измерительные* и *логические*. Измерительные реле по роду величины, вызывающей срабатывание, подразделяются на реле тока, напряжения, мощности, частоты и т.д. к логическим реле относятся реле времени, промежуточные, указательные.

По выполнению различают реле *электромеханические*, имеющие подвижные элементы и контакты, и *статические*, не содержащие подвижных элементов и контактов.

По способу подключения воспринимающей части реле к защищаемому объекту реле подразделяются на *первичные* и *вторичные*. Воспринимающая часть первичных реле включается в цепь защищаемого объекта непосредственно, а вторичных реле через измерительные трансформаторы тока или напряжения.

По способу воздействия реле на выключатель защищаемого объекта различают реле *прямого* и *косвенного* действия. Реле прямого действия непосредственно воздействует на отключающий механизм привода выключателя. Реле косвенного действия осуществляют отключение выключателя, подавая оперативный ток на катушку отключения привода выключателя.

Токовая защита линий напряжением выше 1000 В выполняется с использованием вторичных токовых реле прямого и косвенного действия.

Обмотки электромагнитов вторичных реле тока включаются в цепь защищаемого элемента через измерительные преобразователи тока (трансформаторы тока ТТ). В реле поступает вторичный ток ТТ, пропорциональный току защищаемого объекта, но значительно меньший по абсолютному значению. Кроме того, устройство защиты оказывается изолированным от высокого напряжения защищаемого объекта. Реле прямого действия воздействует непосредственно на защелку выключателя. Реле косвенного действия подключает катушку отключения (КО) выключателя к источнику оперативного тока.

Если реле предназначено для срабатывания при возрастании воздействующей величины, то оно называется *максимальным*, если же реле должно срабатывать при снижении воздействующей величины, оно называется *минимальным*.

## Лабораторная работа № 1

### Исследование реле максимального тока

#### Цель работы

Изучить конструкцию реле РТ – 40 , реагирующие на превышение тока в контролируемой цепи, и исследовать его основные характеристики.

## Предмет исследования

С помощью реле максимального тока осуществляется максимальная токовая защита, реагирующая на увеличение токов в защищаемой электрической установке. Для успешной работы в установках защиты реле максимального тока должны обеспечивать высокий коэффициент возврата, характеризующий чувствительность реле.

В работе исследуется электромагнитное реле максимального тока РТ-40, общий вид которого показан на рисунке 1. Магнитная система состоит из П-образного шихтованного сердечника 1 и Г-образного якоря 2. В сердечнике электромагнита под катушками имеются вырезы, предназначенные для снижения вибрации подвижной системы при больших и несинусоидальных токах. При пиках синусоидального тока участки сердечника с уменьшенным сечением насыщаются и ограничивают величину магнитного потока.

Положение якоря в начальном и конечном положениях фиксируются упорными винтами, закрепленными контргайками или пружинными пластинками для предохранения от самоотвинчивания. Якорь реле удерживается в начальном положении с помощью противодействующей спиральной пружины 4, один конец которой связан с якорем, а другой с указателем уставки 5. При повороте указателя уставки изменяется противодействующий момент пружины и соответственно ток срабатывания реле. Необходимое положение указателя уставки определяется по делениям, нанесенным на шкале 6. Жесткость противодействующей пружины 1,0 Н·мм/90°, при повороте указателя от минимальной уставки до максимальной (угол поворота около 90°) момент противодействующей пружины увеличивается в 4 раза (пропорционально квадрату тока). К якорю прикреплены опорная скоба и пластмассовая колодка с двумя подвижными мостиковыми контактами из серебра. К верхней части скобы приклепан полый барабанчик 7 с радиальными перегородками внутри, полость барабанчика заполнена хорошо просушенным кварцевым песком. Барабанчик является гасителем колебаний (вибраций) подвижной системы. Между барабанчиком и опорной скобой помещена шайба с узким центральным отверстием (соответствующее отверстие имеется и в скобе) и бронзовая пластина 8, служащая опорной плоскостью для подвески подвижной системы реле.

Подвижная система в верхней части опирается бронзовой пластинкой на штифт из нержавеющей стали со сферическим концом, укрепленный на вкладыше 9 на рамке-основании 10 и проходящий через отверстия в опорной скобе и шайбе. В нижней части перемещение оси подвижной системы в горизонтальной плоскости ограничивается таким же штифтом, проходящим через отверстие в нижней изогнутой части опорной скобы. Сама скоба ограничивает смещение подвижной системы вверх.

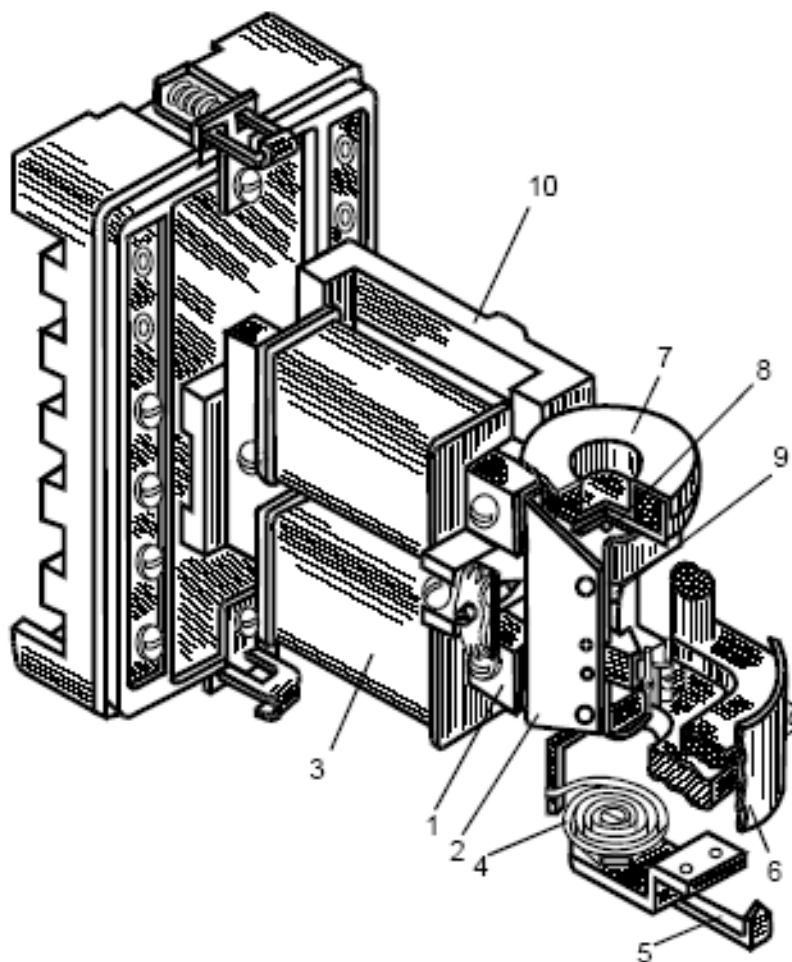


Рис. 1. Общий вид электромагнитного реле РТ-40

На сердечнике расположены две катушки, концы которых выведены на зажимы цоколя реле. Перестановкой перемычек на этих зажимах можно осуществлять параллельное и последовательное соединение катушек реле и соответственно изменять величину уставок в два раза. Цифры, нанесенные на шкале, соответствуют последовательному соединению обмоток. Схема внутренних соединений реле приведена на рисунке 2.

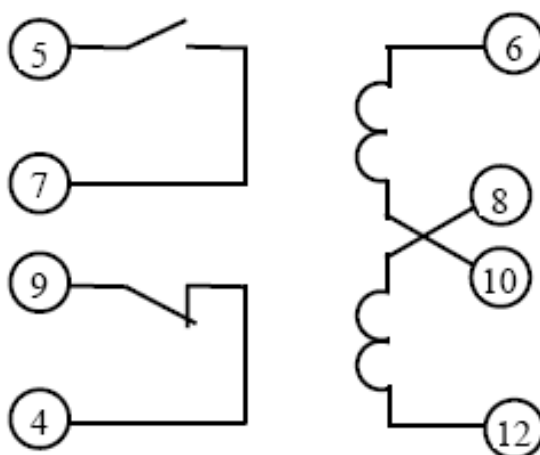


Рис. 2. Схема внутренних соединений реле РТ-40

Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакт. Для более четкой работы контактов подвижные контакты выполнены свободно поворачивающимися. Неподвижные контакты приварены к плоским бронзовым пружинам, перемещение которых ограничивается гибкими наружными и жесткими внутренними пружинами.

Все узлы реле смонтированы на рамке-основании 2 из алюминиевого сплава (рисунок 1), укрепленной на пластмассовом цоколе реле, и закрыты прозрачным полистирольным кожухом. Крепление кожуха к цоколю производится пружинными замками.

Погрешность тока срабатывания реле по отношению к уставке не превышает  $\pm 5\%$ , разброс тока срабатывания не более 4% на любой уставке.

Коэффициент возврата реле  $k_{возв} = \frac{I_{возв}}{I_{ср}}$  не ниже 0,85 на первой уставке

и не ниже 0,8 на остальных, за исключением реле РТ-40/50 и РТ-40/100, у которых коэффициент возврата не ниже 0,7 на всех уставках.

Время срабатывания реле не более 0,1 с при токе, равном  $1,2 \cdot I_{ср}$ , и не более 0,03 с при токе  $3,0 I_{ср}$

Время возврата реле при скачкообразном уменьшении тока в обмотках реле 1,2 – 20-кратного значения тока срабатывания до  $0,7 I_{ср}$  (у реле РТ-40/50 и РТ-40/100 – до  $0,6 \cdot I_{ср}$ ) не более 0,035 с контакты реле средней мощности.

Принципиальная электрическая схема установки испытания реле максимального тока приведена на рисунке 3. При выполнении данной лабораторной работы необходимо выполнить несколько опытных срабатываний реле, значения записать в таблицу.

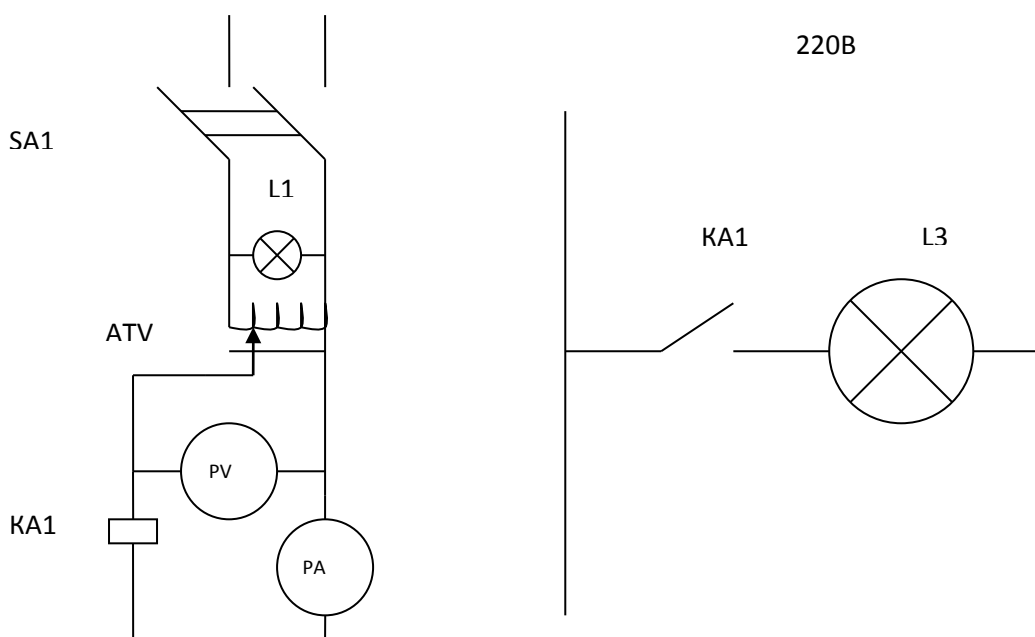


Рис. 3. Схема подключения реле РТ-40



Схема подключается к электрической сети  $\sim I$  напряжением 220В выключаем  $SA_1(A_1)$  загорается лампочка  $L_1$ . Изменение тока в цепи осуществляется с помощью лабораторный автотрансформатор  $AT$ . С помощью амперметра  $PA_1$  определяется величина тока при срабатывании и возврате реле тока  $PT-40$ , полученные значения записываются в таблицу 1. Срабатывание реле определяется с помощью сигнальной лампы  $L_3$  включенной в цепь нормального открытого контакта реле.

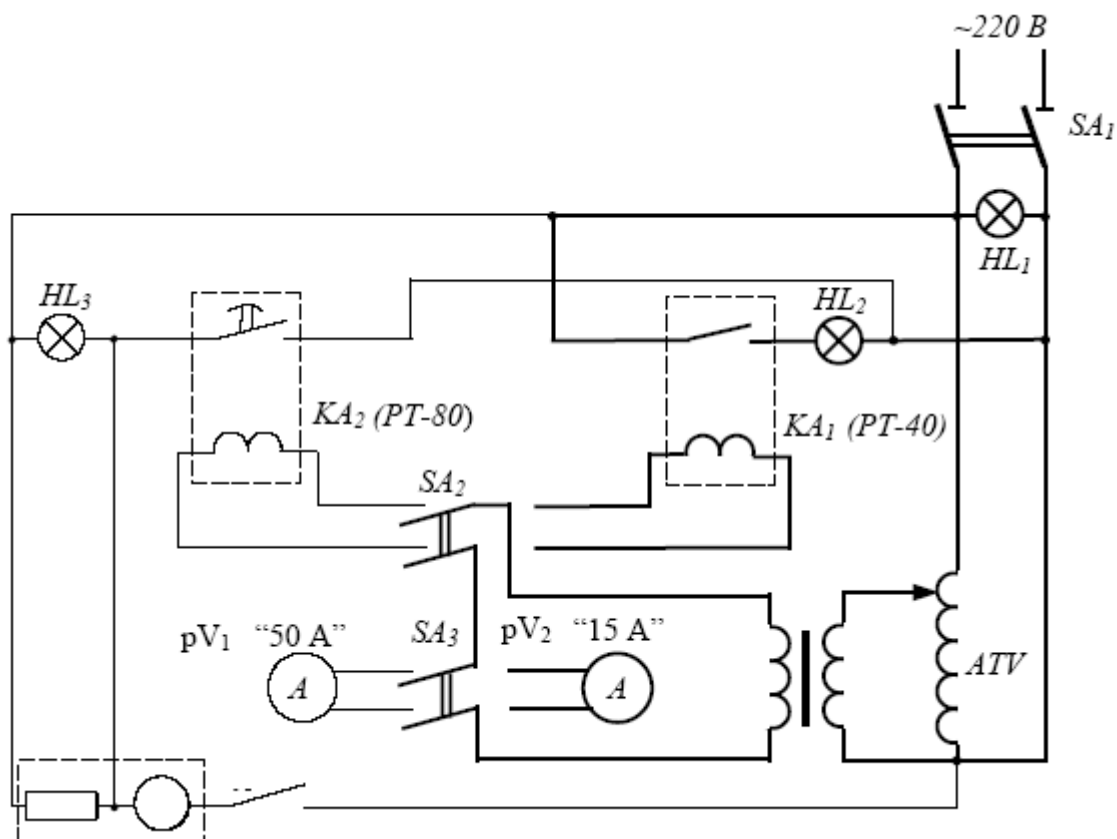


Рис. 4. Принципиальная схема испытания

Схема подключается к электрической сети переменного тока напряжением 220 В выключателем  $SA_1$  (загорается лампочка  $HL_1$ ). Изменение тока в катушках реле осуществляется с помощью лабораторного автотрансформатора  $ATV$ . Трансформатор  $TV$  220/12 В позволяет получить большие токи в катушках реле. Переключателем  $SA_2$  подключается электромагнитное реле. Срабатывание реле  $PT-40$  контролируется загоранием лампочки  $HL_2$ .

Ток в катушке электромагнитного реле измеряется амперметрами  $PA_1$  и  $PA_2$  с несколькими пределами. Переключение осуществляется переключателем  $SA_3$ .

### Техника безопасности

При включенном лабораторном стенде на схему управления подается напряжение 220 В. Других, опасных для жизни напряжений при нормальной работе на стенде не имеется. Изменение уставок срабатывания исследуемого реле должно производиться только при отключенном стенде. В случае аварии необходимо перевести выключатель питания стенда  $SA_1$  в нижнее положение. Повторное включение разрешается только лаборанту или преподавателю.

### Задание на лабораторную работу

1. Изучить конструкцию реле РТ-40.
2. Экспериментально определить и представить в виде графиков тарировочные характеристики  $I_{сраб} = f(I_{уст})$ ;  $I_{в} = f(I_{уст})$ ;  $k_{в} = f(I_{уст})$  (всего три зависимости).

### Методические указания

Включение стенда и подготовка к работе.

Перед включением стенда установить переключатели  $SA_2$  и  $SA_3$  в нужное положение. Включить выключатель  $SA_1$  (загорается лампочка  $HL_1$ ).

Изменение уставок тока срабатывания  $I_{уст}$  реле РТ-40 производится поворотом указателя на шкале.

Переключатель  $SA_2$  перевести вправо. Для измерения тока срабатывания вращать рукоятку автотрансформатора  $ATV$  по часовой стрелке до момента срабатывания реле (загорается лампочка  $HL_2$ ), а амперметр показывает величину тока срабатывания. Для определения тока возврата – вращать рукоятку автотрансформатора в обратном направлении до момента возврата реле в первоначальное состояние (гаснет лампочка  $HL_2$ ). Ток возврата определяется по амперметру.

Полученные данные свести в таблицу 1. Опыт повторить для каждого оцифрованного деления шкалы.

Таблица 1

$I_{уст}, A$	$I_{ср}, A$	$I_{возв}, A$	$k_{возв}$	Соединение обмоток
				Последовательное соединение обмоток
				Параллельное соединение обмоток

### Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены реле максимального тока?
2. Устройство реле максимального тока РТ-40.
3. Принцип работы реле максимального тока РТ-40.
4. Что характеризует коэффициент возврата реле и почему он меньше единицы?

## Лабораторная работа №2

### Исследование электромагнитного реле напряжения РН-53

#### Цель работы

Ознакомление с устройством электромагнитного реле напряжения типа РН-53 и техникой его испытания.

#### Описание установки

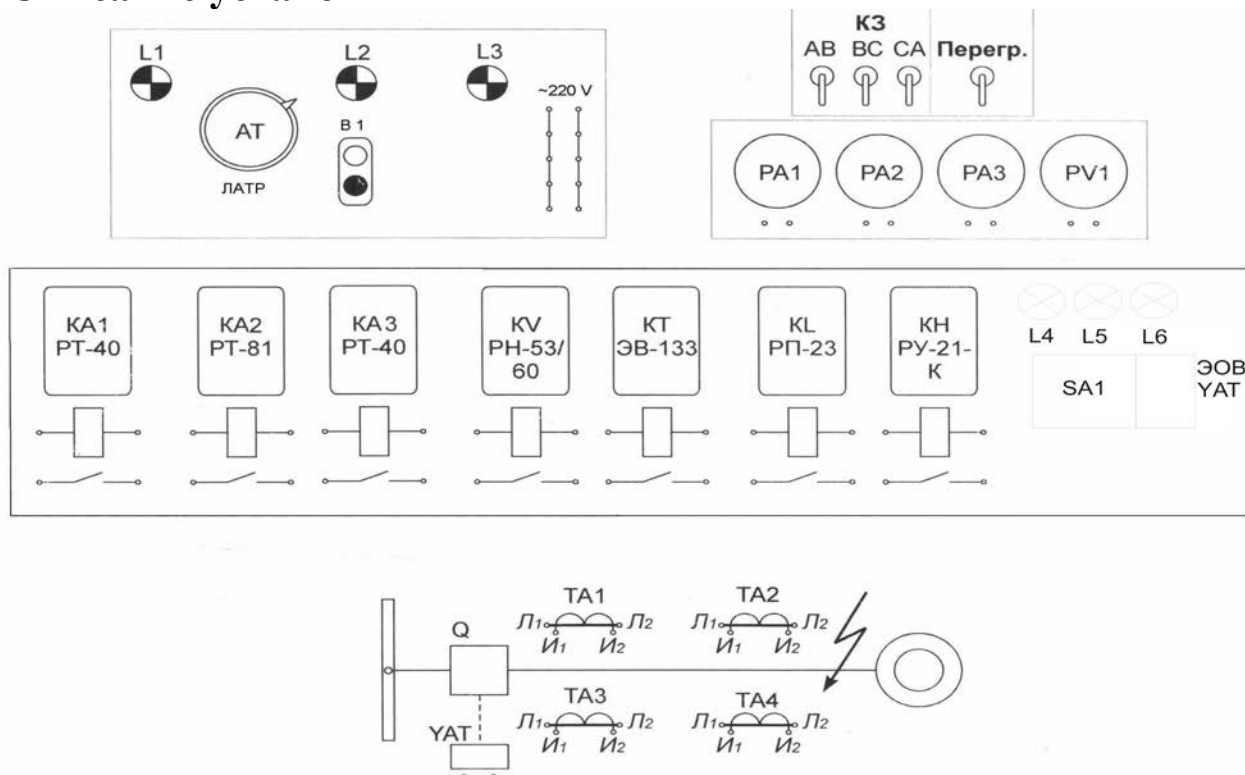


Рис.5. Внешний вид передней панели испытательного стенда

1. KA1 - реле тока типа РТ-40.
2. KA2 - реле тока типа РТ-81.
3. KA3 - реле тока типа РТ-40.
4. KV - реле минимального напряжения типа РН-53/60.
5. KT - реле времени типа ЭВ-133.
6. KL - промежуточное реле типа РП-23.
7. KH - указательное реле типа РУ-21-К.
8. L1,L2,L3 – сигнальные лампы.
9. A1 – автомат питания.
10. ЛАТР (АТ) – лабораторный автотрансформатор.
11. РА1,РА2,РА3 - амперметры.
12. PV1 - вольтметр.

### Общие сведения

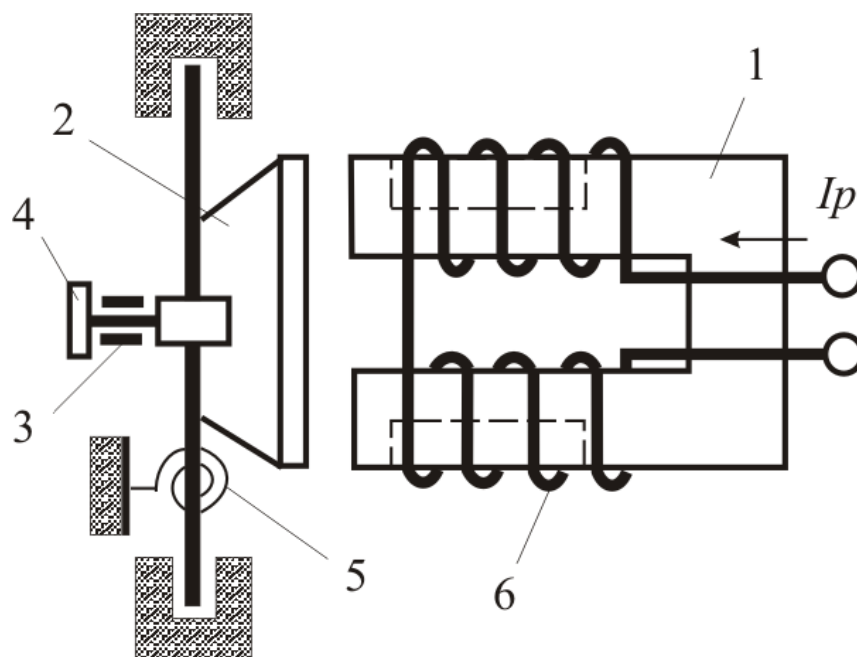


Рис.6. Устройство реле напряжения.

Конструкция электромагнитного реле содержит электромагнит 1 состоящий из стального сердечника и обмоток 6, стальной подвижный якорь 2, неподвижные контакты 3, подвижные контакты 4 и противодействующую пружину 5.

При прохождении тока по обмотке реле магнитный поток, создаваемый этим током, намагничивает подвижный якорь. Возникающая при этом электромагнитная сила действует на якорь и создает вращающий момент, поворачивающий подвижную систему и связанный с осью контактный мостик. Этому перемещению препятствует спиральная пружина, создающая противодействующий момент. Для надежного срабатывания реле необходимо, чтобы вращающий момент превосходил момент сопротивления пружины, трения и массы подвижной системы. Если моменты равны, то реле начинает работать. Для изменения тока (напряжения) срабатывания реле надо изменить момент сопротивления, то есть изменить натяжение возвратной пружины.

### Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы. Выписать паспортные данные.

2. Проверить состояние механической части реле: состояние кожуха и уплотнения, наличие всех деталей, надежность их крепления, четкость хода подвижной системы и возврата ее в исходное положение, правильность регулировки хода якоря и контактов (убедиться в отсутствии заедания подшипников).

3. Собрать схему (рис. 6) для проверки реле напряжения типа РН-53/60

4. Результаты измерений и расчетов записать в таблицу.

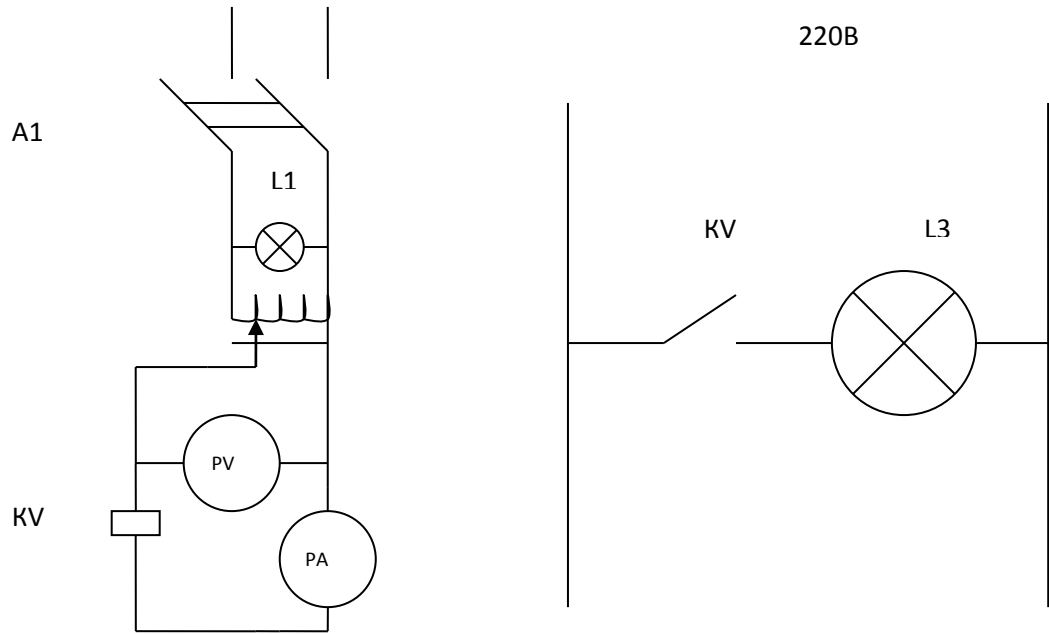


Рис. 7. Схема подключения реле РН-53.

### Порядок выполнения работы

1. Перед испытанием на стенде необходимо убедиться в том, что: автомат в положении «откл.», ЛАТР в нулевом положении.

2. Собрать схему и подключить обмотку токового реле к клеммам. Все остальные кнопки и переключатели в положении «откл.». Нормально закрытые контакты реле подключить к клеммам сигнальной лампы.

3. Включить автомат А1.

Производить увеличение тока плавным вращением ручки ЛАТРа до момента срабатывания реле. Напряжение срабатывания определяется по вольтметру. Вращая ручку ЛАТРа в обратном направлении, определить напряжение возврата реле, который определяется по загоранию лампы и фиксируется по вольтметру. Коэффициент возврата определяется по формуле:

$$k_{возв} = \frac{U_{возв}}{U_{сп}}$$

Полученные данные свести в таблицу 2. Опыт повторить для каждого

оцифрованного деления шкалы.

Таблица2

$U_{уст}, В$	$U_{ср}, В$	$U_{возв}, В$	$k_{возв}$	Диапазон уставок
				Через одно деление
				Через два деления

### Указания к оформлению отчета

Отчет должен быть оформлен каждым студентом индивидуально и должен включать в себя: выполненное домашнее задание, перечень, технические обозначения и типы приборов и аппаратов сведенные в таблицу, схему лабораторной установки, краткое изложение сущности работы, выводы, анализ результатов проведенной работы.

### Контрольные вопросы

1. Причины появления вибрации контактов реле. Способы уменьшения вибрации, применяемые для электромагнитных реле РН-53.
2. Почему для максимальных реле коэффициент возврата  $k_{возв}$  меньше единицы, а для минимальных - больше?
3. Для регулирования напряжения срабатывания в реле напряжения используется включение добавочного резистора, каким еще образом можно изменить напряжение срабатывания реле?
4. Зависит ли коэффициент возврата реле от момента возвратной пружины?

## Лабораторная работа №3 Исследование индукционного реле РТ-81

### Цель работы

Ознакомление с устройством электромагнитного реле тока типа РТ-81 и техникой его испытания на стенде описанной в лабораторной работе №2 (рис.4).

## Общие сведения

### Индукционное реле тока РТ-81.

Реле типа РТ-81 имеет ограниченно зависимую характеристику  $t=f(I)$  и содержит два релейных элемента – индукционный и электромагнитный.

При протекании по обмотке реле тока  $I_p \geq I_{ср.р}$  диск индукционного элемента 1 медленно вращается, причем его вращению препятствует тормозной момент, создаваемый постоянным магнитом 2. Под действием электромагнитного момента, создаваемого током реле, рамка 3 поворачивается, червяк 4 входит в зацепление с зубьями сегмента 5, начинает постепенно подниматься, преодолевая усилие пружины 6, и специальной планкой 7 замыкает контакты реле 8. Время срабатывания регулируется начальным положением зубчатого сегмента при помощи винта, укрепленного на шкале времени. Чем больше сила тока  $I_p$  в обмотке электромагнита, тем быстрее вращается диск и с меньшей выдержкой времени замыкаются контакты реле, т.е. реле имеет зависимую от тока характеристику времени срабатывания. При значениях тока  $I_p = (6-8) I_{ср.р}$  наступает насыщение стали электромагнита и характеристика переходит в независимую. Поэтому характеристики реле РТ-81 называют ограниченно зависимыми.

Токи срабатывания индукционного элемента  $I_{ср.р}$  регулируются изменением числа витков обмотки (перестановкой контактного винта 11 на контактной колодке);  $I_{ср.р} = 2-10$  А; время срабатывания 0,5-16 с. Электромагнитный элемент реле РТ-81 состоит из ярма электромагнита 9 и якоря 10, через которые замыкается часть потоков рассеивания электромагнита. При протекании по обмотке реле тока  $I_p \geq 2I_{ср.р}$  якоря втягивается и без выдержки времени (отсечкой) замыкает контакты реле.

Таким образом, электромагнитный элемент может действовать или совместно с индукционным элементом, или самостоятельно, как бы отсекая часть характеристики реле при больших токах. Поэтому электромагнитный элемент называется отсечкой с кратностью срабатывания  $I_{отс} = (2-8) I_{ср.р}$ . Токи срабатывания электромагнитного элемента регулируются изменением количества витков обмотки и положения регулировочного винта 12 (рис.7).

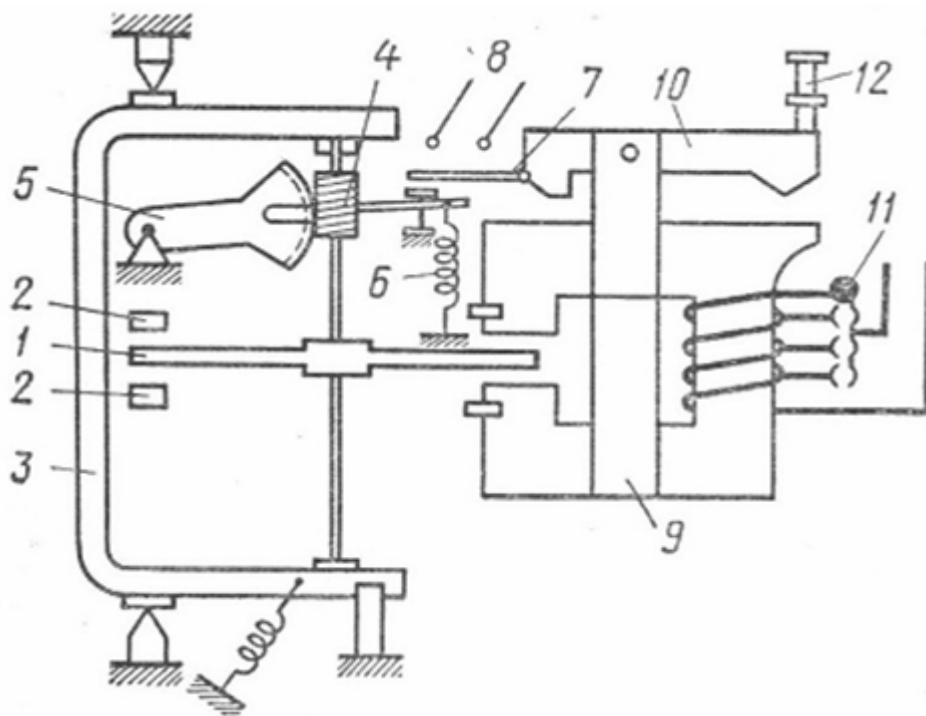


Рис.8. Устройство индукционного реле РТ-81.

Конструкция электромагнитного реле содержит электромагнит 1 состоящий из стального сердечника и обмоток 6, стальной подвижный якорь 2, неподвижные контакты 3, подвижные контакты 4 и противодействующую пружину 5.

При прохождении тока по обмотке реле магнитный поток, создаваемый этим током, намагничивает подвижный якорь. Возникающая при этом электромагнитная сила действует на якорь и создает вращающий момент, поворачивающий подвижную систему и связанный с осью контактный мостик. Этому перемещению препятствует спиральная пружина, создающая противодействующий момент. Для надежного срабатывания реле необходимо, чтобы вращающий момент превосходил момент сопротивления пружины, трения и массы подвижной системы. Если моменты равны, то реле начинает работать. Для изменения тока (напряжения) срабатывания реле надо изменить момент сопротивления, то есть изменить натяжение возвратной пружины.

### **Последовательность выполнения работы**

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы. Выписать паспортные данные.

2. Проверить состояние механической части реле: состояние кожуха и уплотнения, наличие всех деталей, надежность их крепления, четкость хода подвижной системы и возврата ее в исходное положение, правильность регулировки хода якоря и контактов (убедиться в отсутствии заедания подшипников).



3. Собрать схему (рис. 8). Определить максимальное время уставки. Проверить ток срабатывания электромагнитного элемента (отсечки) при минимальной уставке, максимальной уставке и в промежуточном положении.
4. Результаты измерений и расчетов записать в таблицу.

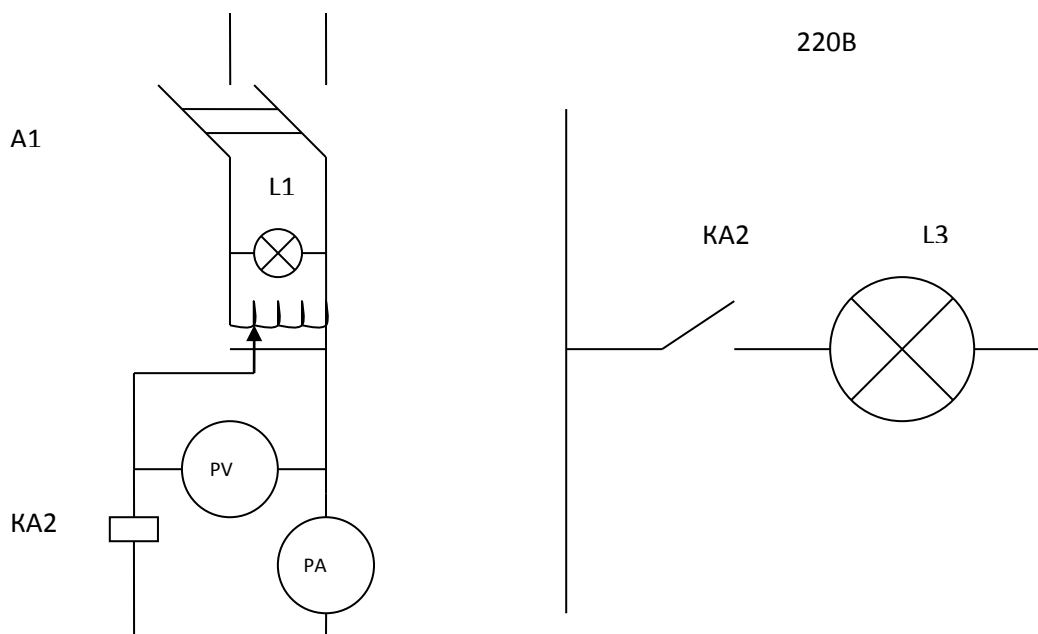


Рис.9. Схема подключения реле РТ-81.

### Порядок выполнения работы

1. Перед испытанием на стенде необходимо убедиться в том, что: автомат в положении «откл.», ЛАТР в нулевом положении.

2. Собрать схему и подключить обмотку токового реле к клеммам. Все остальные кнопки и переключатели в положении «откл.». Нормально открытые контакты реле подключить к клеммам сигнальной лампы.

3. Включить автомат А1.

Производить увеличение тока плавным вращением ручки ЛАТРа до момента срабатывания реле. Ток срабатывания определяется по амперметру. Вращая ручку ЛАТРа в обратном направлении, определить ток возврата реле, который определяется по затуханию лампы и фиксируется по амперметру. Коэффициент возврата определяется по формуле:

$$k_{возв} = \frac{I_{возв}}{I_{сп}}$$

4. Полученные данные свести в таблицу 3. Опыт повторить для каждого

оцифрованного деления шкалы.

Таблица 3

$I_{уст}, А$	$t, сек.$	$I_{ср}, А$	$I_{6036}, А$	$k_{6036}$	Соединение обмоток
					Последовательное соединение обмоток
					Параллельное соединение обмоток

### Указания к оформлению отчета

Отчет должен быть оформлен каждым студентом индивидуально и должен включать в себя: выполненное домашнее задание, перечень, технические обозначения и типы приборов и аппаратов сведенные в таблицу, схему лабораторной установки, краткое изложение сущности работы, выводы, анализ результатов проведенной работы.

### Лабораторная работа № 4

#### Исследование реле времени с анкерным механизмом

##### Цель работы

Изучить конструкцию реле времени, использующее механическое замедление; снять рабочие характеристики реле.

##### Предмет исследования

Реле времени предназначено для выдержки интервала времени между моментом включения катушки реле и замыканием (или размыканием) его контактов, а также моментом выключения катушки реле и размыканием (или замыканием) его контактов.

Реле времени ЭВ-100 и ЭВ-200 применяются в схемах релейной защиты и противоаварийной автоматики на оперативном постоянном (ЭВ-100) или переменном (ЭВ-200) токе для создания регулируемой с заданной точностью выдержки времени при срабатывании или отпуске и обеспечения определенной последовательности работы элементов схемы. Выдержка времени создается часовыми механизмами серии 210ЧП, специально разработанными для этой цели. Устройство реле серии ЭВ и часового механизма схематически показано на рисунке 6.

Электромагнит реле серии ЭВ-100 состоит из магнитопровода 3, катушки 4 и втягивающегося цилиндрического якоря 2. Для получения оптимальной тяговой характеристики нижний конец якоря имеет коническую форму и при втягивании входит в коническое углубление на сердечнике, помещенном внутри катушки. Для исключения залипания якоря в притянутом положении на его нижнем конце имеется бронзовая шайба. На верхнем конце якоря укреплен рычаг 23 с пластмассовым толкателем, воздействующим на мгновенные

контакты 24, 25 и 22 без вдержки времени. При отсутствии возбуждения якорь под действием возвратной пружины 1 поднимает вверх до упора заводной рычаг 21 часового механизма, зубчатый сектор 17 поворачивает шестерню 16 на выходном валу 12 и устанавливает подвижные контакты 15, замыкающиеся с выдержкой времени, в начальное положение. Натяжение рабочей пружины может регулироваться с помощью узла 10. При возбуждении электромагнита якорь втягивается, приводит в действие мгновенные контакты и освобождает рычаг 21 часового механизма. Под действием рабочей пружины 11 выходной вал механизма вместе с подвижными контактами 15 начинает поворачиваться. В момент начала движения выходного вала включается фрикционная муфта 9, расположенная внутри шестерни 8, и приводит в действие замедляющее анкерное устройство. Шестерни 8, 7, 5 и 20 передают усилие рабочей пружины на анкерное колесо 6, сцепленное с анкером 18 и балансиром 19. Под воздействием анкерного колеса анкер начинает колебаться. При каждом колебании анкера анкерное колесо поворачивается на один зуб; период колебания анкера регулируется положением грузиков на балансире.

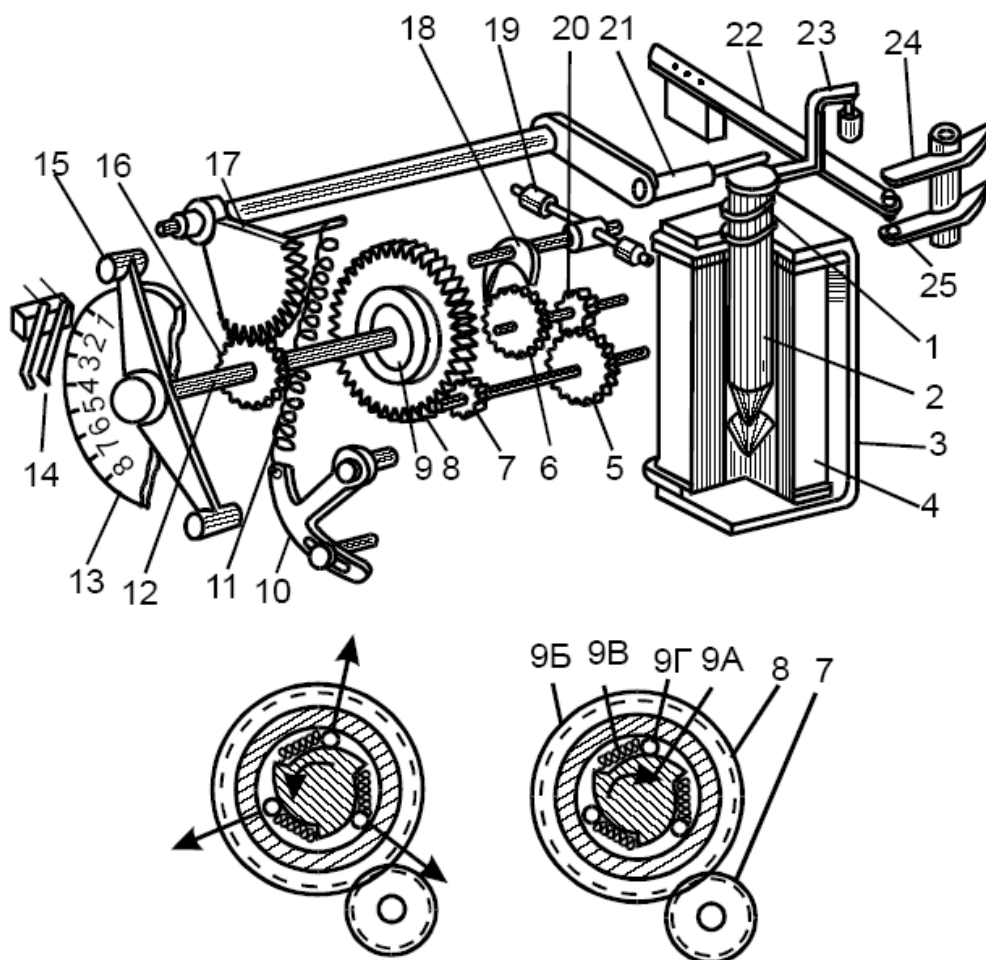


Рис. 10. Устройство часового механизма и реле времени ЭВ – 100 и ЭВ – 200.

Вращение выходного вала происходит до тех пор, пока мостик подвижного контакта 15 не замкнет конечные неподвижные контакты 14 и не коснется упора, имеющегося на пластмассовой колодке конечных контактов. Помимо конечного контакта реле могут иметь проскальзывающий контакт,

кратковременно замыкающийся после заданной выдержки времени. Выдержка времени проскальзывающего контакта может быть только меньше выдержки времени конечных контактов. Изменение уставок времени срабатывания производится перемещением неподвижных конечных и проскальзывающих контактов на шкале 13. Реле имеет сильную возвратную пружину, рассчитанную на завод часового механизма, поэтому обмотка электромагнита потребляет значительную мощность и может подключаться к источнику напряжения лишь на непродолжительное время.

Реле серии ЭВ-100 выпускается двенадцати различных исполнений, отличающихся диапазоном регулирования выдержки времени, длительной или кратковременной термической стойкостью и наличием или отсутствием проскальзывающего контакта.

Реле времени ЭВ-200 отличается от реле серии ЭВ-100 только конструкцией электромагнита и передаточных звеньев. Их устройство схематически показано на рисунке 10, часовой механизм и часть деталей на рисунке не показаны.

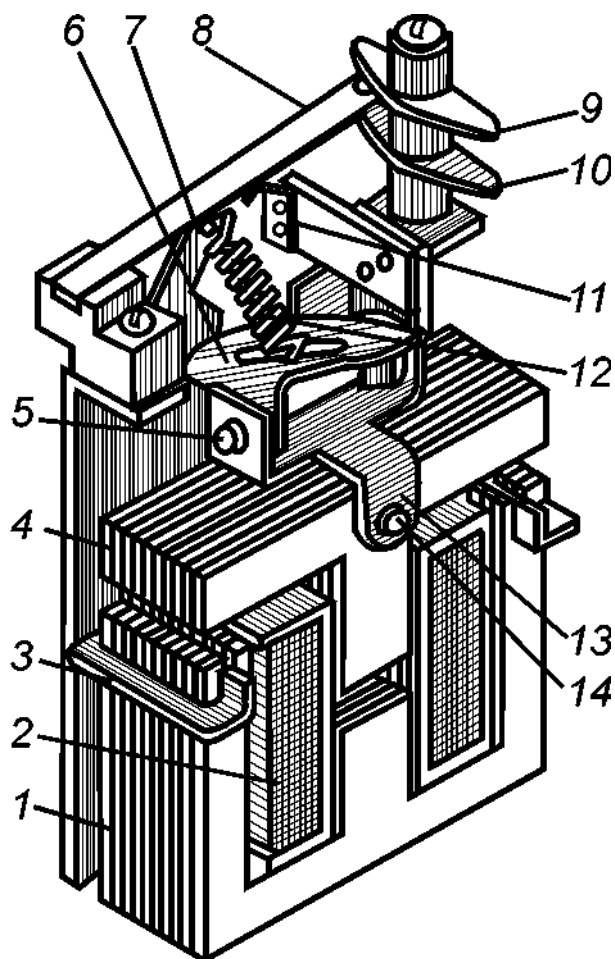


Рис. 11. Электромагнит реле времени ЭВ – 200

Электромагнит реле состоит из якоря 4 и магнитопровода 1 с катушкой 2. На крайних полюсах магнитопровода размещены короткозамкнутые витки 3. Фигурная скоба 13 взаимно перпендикулярными осями 5 и 14 связана с якорем и качающимся рычагом 6. Шарнирные связи позволяют якорю поворачиваться

во всех направлениях и обеспечивают плотное прилегание якоря к полюсам магнитопровода. К фигурной скобе прикреплен толкатель 11, воздействующий на переключающие контакты мгновенного действия 8, 9 и 10. С шарнирной осью 5 соединена возвратная пружина 12, другим своим концом возвратная пружина соединена с лапкой 7. Подгибкой лапки регулируется натяжение возвратной пружины. Возвратная пружина поднимает вверх фигурную скобу вместе с якорем и качающимся рычагом 6. Качающийся рычаг соприкасается с пальцем заводного рычага часового механизма и при обесточенной обмотке реле держит часовой механизм во взведенном состоянии.

Реле времени ЭВ-200 имеют восемь исполнений, отличающихся диапазонами регулировки выдержки времени и наличием или отсутствием проскальзывающего контакта. Все исполнения имеют мгновенный переключающий кон-такт.

Реле серии ЭВ-200 выпускается на номинальное напряжение 100, 127, 220 и 380 В, с частотой 50 Гц. Напряжение срабатывания реле не более 85%  $U_{ном}$ . Мощность, потребляемая обмоткой реле при втянутом якоря, не превышает 20 В·А. Обмотки реле длительно выдерживают напряжение 110%  $U_{ном}$ .

### **Описание установки**

Принципиальная схема испытания различных реле времени приведена на рисунке 11. Для снятия характеристик реле времени ЭВ-200 используется выделенная часть схемы испытательной установки.

### **Задание**

1. Изучить конструкцию и принцип действия реле серии ЭВ-100 и ЭВ-200.
2. Произвести проверку шкалы уставок реле ЭВ-200.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие пределы выдержки времени могут давать реле с анкерным механизмом ЭВ – 100, ЭВ – 200 (при срабатывании и отпуске)?
2. Объясните принцип действия реле, указанных в вопросе.
3. Каким путем устанавливается различная выдержка времени в реле времени с анкерным механизмом?

## **Лабораторная работа № 5**

### **Исследование работы магнитного пускателя с тепловым реле и АВР**

**Цель работы:** ознакомление с принципом работы электромагнитного пускателя и схемой автоматического ввода резервного питания (АВР) на электромагнитных пускателях. Научится подключать магнитный пускатель и собирать схему АВР и проверять правильность ее работы.

#### **1. Устройство магнитного пускателя**

Пускатель собирается на металлическом основании 1. Неподвижные контакты 2 помещены внутри изоляционных камер, образованных стенками 6. Токоведущие части у

неподвижных контактов имеют петлеобразную форму, чтобы увеличить электродинамические усилия и исключить образование «стоячей» дуги между контактами. Кроме того, опорные точки дуги не остаются неподвижными на поверхности контактов, что приводит к увеличению восстанавливающейся прочности.

Подвижные контакты 8 - мостикового типа установлены на детали 11. Нажатие на контакты, укрепленные на головке 10, осуществляется контактными пружинами 9. Двукратный разрыв цепи улучшает условия гашения дуги. Небольшое расстояние между контактами усиливает их роль в отводе тепловой энергии от дуги. Гашение дуги производится в закрытой камере 6. Камера общая на три фазы с изолированными ячейками для каждой фазы.

Магнитная система – поворотного типа, Ш-образная. Магнитопровод якоря втягивающего электромагнита пускателя устанавливается на детали 11. Неподвижный магнитопровод 4 электромагнита с катушкой 5 установлены на амортизирующих пружинах 3. Известно, что величина тока, проходящего через обмотку электромагнита переменного тока, растет с увеличением воздушного зазора (при неизменном напряжении), так как при этом уменьшается индуктивное сопротивление катушки электромагнита. Поэтому при относительно большом воздушном зазоре в электромагнитах пускателей серии ПА создается необходимая сила для надежного притяжения якоря при включении. Во включенном состоянии, когда сечение воздушного зазора резко сокращается (0,3 – 0,5 мм), увеличивается индуктивное сопротивление катушки, что приводит к уменьшению тока в катушке и ее мощности. Возврат подвижной системы пускателя в отключенное положение осуществляется за счет веса этой системы и пружины 7. В пускателях серии ПА найдена удачная конструкция короткозамкнутого витка 13, устанавливаемого на полюсе 4 втягивающего электромагнита для устранения вибрации якоря. Дюралюминиевая рамка плотно впрессовывается в прямоугольный паз на конце полюса.

Контактор магнитного пускателя имеет блок-контакты (на рисунке 12 не показаны), которые находятся в двух самостоятельных блоках, в пластмассовом корпусе и расположены по бокам от главных контактов. Блоки крепятся к основанию 11 контактора двумя винтами. Контакты блок-контактов мостикового типа. Каждый блок имеет один замыкающий и один размыкающий контакты. Блок блок-контактов имеет выступающий штифт, на который воздействует рычаг контакторов при включении. Возврат в исходное положение при отключении контактора происходит под воздействием возвратной пружины, которая одновременно осуществляет нажатие на контакты. Каждый мостик имеет свою пружину, мостики друг от друга изолированы.

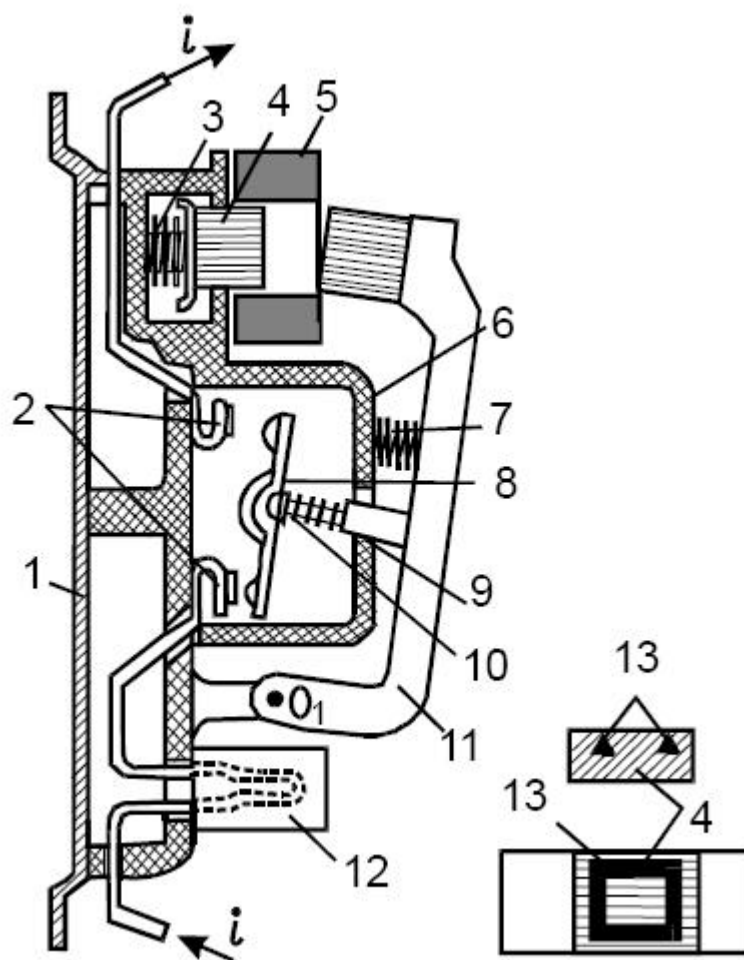


Рис. 12. Конструкция магнитных пускателей серии ПА

## 2. Описание установки

Электроснабжение стенда осуществляется от сети переменного тока напряжением 380/220В через выключатель  $SA_1$  (при включении загорается сигнальная лампа). Питание пускателей осуществляется от сети переменного тока напряжением 380/220В через выключатель  $SA_2$  и  $SA_3$  при включении загораются лампы  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3$ . Напряжение на катушке магнитного пускателя изменяется с помощью ЛАТРа и измеряется вольтметром  $pV$ . Для измерения токов в обмотке электромагнита пускателя используется амперметр  $pA$ . Для включения и отключения магнитного пускателя предусматривается кнопка.

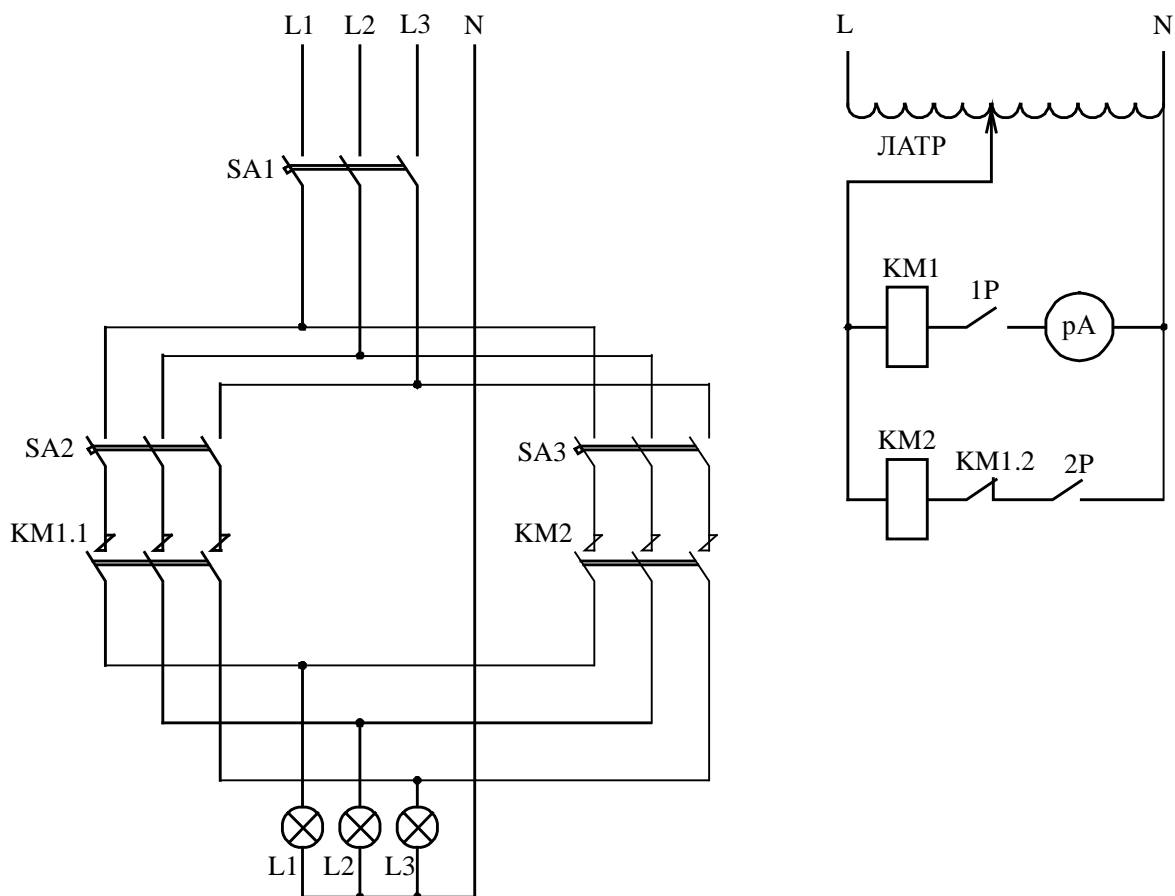


Рис. 13. Схема подключения АВР.

1. KM1 и KM2 - магнитные пускатели трехфазные.
2. SA1, SA2 и SA3 - автоматические выключатели трехфазные.
3. L1, L2 и L3 – сигнальные лампы.
4. ЛАТР (АТ) – лабораторный автотрансформатор.
5. pA – амперметр.
6. pV – вольтметр.
7. 1P и 2P – выключатель.

### 3. Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы. Выписать паспортные данные.

2. Проверить состояние механической части контакторов: состояние контактов и соединений, наличие всех деталей, надежность их крепления, четкость хода подвижной системы и возврата ее в исходное положение, правильность регулировки хода якоря и контактов (убедиться в отсутствии заедания).

3. Собрать схему (рис. 13). Проверить правильность срабатывания электромагнитных пускателей.



4. Экспериментально определить токи в обмотке электромагнита пускателя при разомкнутом и притяннутом положении якоря при напряжении на обмотке 220 В.

5. Экспериментально определить максимальное напряжение  $U_{отп}$ , при котором отпадает якорь магнитного пускателя.

6. Экспериментально определить и представить в виде графика зависимость времени срабатывания теплового реле магнитного пускателя от протекающего тока  $t = f(I)$ . Указать номинальный ток защищаемого объекта.

7. Результаты измерений и расчетов записать в таблицу.

#### 4. Порядок выполнения работы

4.1. Перед испытанием на стенде необходимо убедиться в том, что: автомат в положении «откл.», ЛАТР в нулевом положении.

4.2. Собрать схему и подключить обмотки пускателей к клеммам. Все остальные кнопки и переключатели в положении «откл.». Нормально открытые контакты пускателей подключить к клеммам сигнальной лампы.

4.3. Включить автомат SA1.

Производить увеличение тока плавным вращением ручки ЛАТРа до момента срабатывания пускателя. Ток срабатывания определяется по амперметру. Вращая ручку ЛАТРа в обратном направлении, определить ток возврата пускателя, который определяется по затуханию лампы и фиксируется по амперметру. Коэффициент возврата определяется по формуле:

$$k_{возв} = \frac{I_{возв}}{I_{ср}} \quad (1)$$

4.4. Полученные данные свести в таблицу 1. Опыт повторить 5 раз для каждого пускателя.

Таблица 4.

$I_{ср}, А$	$I_{возв}, А$	$U_{отп}, В$	$T, сек.$	$k_{возв}$

#### 5. Указания к оформлению отчета

Отчет должен быть оформлен каждым студентом индивидуально и должен включать в себя: выполненное домашнее задание, перечень, технические обозначения и типы приборов и аппаратов сведенные в таблицу, схему лабораторной установки, краткое изложение сущности работы, выводы, анализ результатов проведенной работы.

#### 6. Контрольные вопросы

1. Как гасится дуга в магнитных пускателях?
2. Каковы защитные функции магнитного пускателя?
3. Устройство теплового реле?

4. Принцип действия теплового реле и его совместная работа с магнитным пускателем?
5. Нарисовать схемы включения нереверсивного и реверсивного пускателей для управления асинхронным двигателем.
6. Как выполняется блокировка от возможного одновременного включения магнитных пускателей?

### Лабораторная работа № 6, 7

## Защита и автоматика электродвигателей напряжением до 1 кВ

**Цель работы:** ознакомление с принципом работы схем защит электродвигателей от ненормальных режимов.

### 1. Общие сведения

Асинхронные электродвигатели напряжением до 1 кВ находят массовое применение в различных отраслях народного хозяйства. Они имеют относительно небольшую мощность и невысокую стоимость. Защита и автоматика таких электродвигателей должны отличаться простотой устройства и обслуживания, малой трудоемкостью ремонта, экономичностью и надежностью. Этим требованиям удовлетворяют устройства защиты и автоматики, выполненные наиболее простыми средствами: плавкими предохранителями, разделителями автоматических выключателей и тепловыми реле магнитных пускателей. Если коммутационным аппаратом служит контактор, то устройства защиты и автоматики выполняют на оперативном переменном токе, используя первичные и вторичные реле косвенного действия.

### 2. Описание установки

На рис. 14,а (работа №6) показана схема токовой отсечки без выдержки времени в трехфазном исполнении. Реле тока  $KAI—KAZ$  включаются в каждую фазу обмотки статора непосредственно. При срабатывании хотя бы одного реле размыкается соответствующий контакт  $KAI — KAZ$  в цепи катушки контактора  $KM$  и электродвигатель отключается от сети. При перегрузках появляется сверхток и повышается температура обмотки электродвигателя, поэтому от перегрузки используют либо токовую защиту, реагирующую на возрастание тока, либо температурную защиту. Токовая защита выполняется электромеханическими, полупроводниковыми или электротепловыми реле. Защита от перегрузки не должна срабатывать при кратковременных перегрузках, поэтому она имеет выдержку времени и действует на отключение, на сигнал или разгрузку механизма. Защита устанавливается в тех случаях, когда возможна технологическая перегрузка механизма, а также когда требуется ограничить длительность пуска или самозапуск при пониженном напряжении.

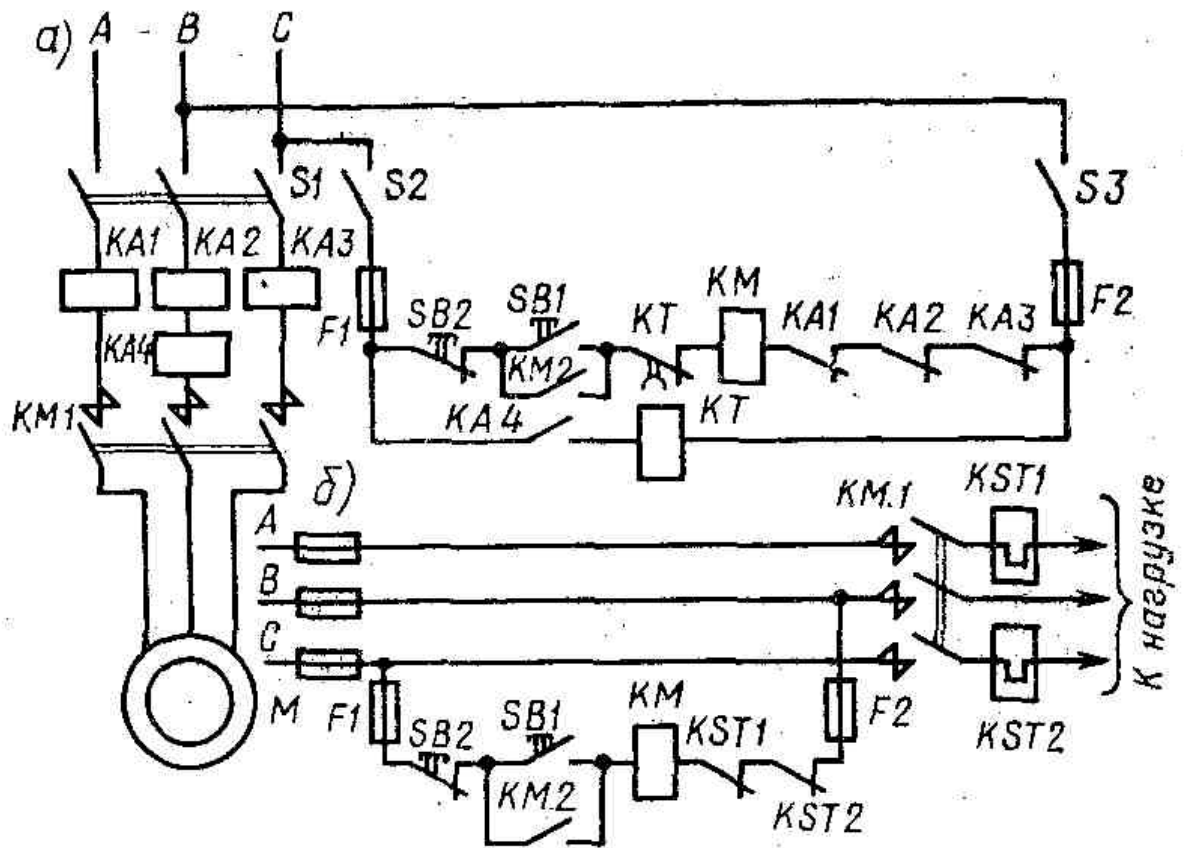


Рис. 14. Схема защиты электродвигателя от коротких замыканий и перегрузок.

Защита от перегрузки, выполняемая посредством электромагнитных реле, содержит реле тока, включаемое непосредственно в фазу двигателя или во вторичную цепь трансформатора тока, и реле времени реле  $KA4$  и  $KT$  на рис. 14, а. Если защита от перегрузки должна отключать электродвигатель и при обрыве фазы, то ее выполняют двухфазной. В защите применяют такие же реле, какие используются для защиты электродвигателей от коротких замыканий. Включая реле через трансформатор тока, защиту можно сделать более чувствительной, используя в ней реле с более высоким коэффициентом возврата, чем у первичных реле.

Ток срабатывания реле должен удовлетворять условиям и, а выдержка времени реле  $KT$  принимается больше времени нормального пуска (не менее  $1/c.3=3$  с). При длительной перегрузке и при затянувшемся пуске электродвигателя реле времени успевает сработать и, размыкая контакт  $KT$  в цепи  $KM$  катушки контактора, отключает электродвигатель.

Чтобы использовать электротепловые реле для защиты электродвигателя от работы на двух фазах, магнитный пускатель содержит два электротепловых реле  $KST1$  и  $KST2$  на рис. 14, б (работа №7). В отличие от схемы рис. 14, а специальных схем после обрыва фазы электротепловые реле отключают электродвигатель не мгновенно, а через некоторое время. С помощью тепловых

реле наиболее удовлетворительно защищаются от перегрузки электродвигателя длительного режима работы.

### **3. Порядок выполнения работы**

1. Перед испытанием на стенде необходимо убедиться в том, что: автомат в положении «откл.», ЛАТР в нулевом положении, см. рис. 5.

2. Собрать схему 14, *а* (работа № 6) и подключить обмотки пускателей к клеммам электродвигателя. Все остальные кнопки и переключатели в положении «откл.».

3. Включить автоматы S1, S2 и S3.

4. Включить переключатели «КЗ – АВ» и убедиться в отключении асинхронного двигателя (АД) от схемы защиты. После срабатывания электромагнита отключения выключателя отключить переключатель «КЗ – АВ».

5. Включить переключатели «КЗ – ВС» и убедиться в отключении АД от схемы защиты. После срабатывания электромагнита отключения выключателя отключить переключатель «КЗ – ВС».

6. Включить переключатели «КЗ – АС» и убедиться в отключении АД от схемы защиты. После срабатывания электромагнита отключения выключателя отключить переключатель «КЗ – АС».

7. Включить переключатель «Перегр.» и убедиться в отключении АД от схемы защиты. После срабатывания электромагнита отключения выключателя отключить переключатель «Перегр.».

8. Собрать схему 14, *б* (работа № 7) и подключить обмотки пускателей к клеммам электродвигателя. Все остальные кнопки и переключатели в положении «откл.» и выполнить пп. 3 – 7.

### **4. Контрольные вопросы**

1. Как производится ручной запуск АД.
2. Как осуществляется останов АД.
3. В чем разница схем 14 *а* и *б*.
4. Как измениться схема соединений контактов при использовании «нормально-открытых» контактов реле КА1-КА3.
5. Как измениться схема соединений контактов при использовании «нормально-открытых» контактов реле КТ.

### **Лабораторная работа № 8**

#### **Защита электродвигателя от понижения напряжения**

**Цель работы:** ознакомление с принципом работы схемы защиты асинхронного электродвигателя от понижения напряжения

## 1. Общие сведения

Асинхронные электродвигатели напряжением до 1 кВ находят массовое применение в различных отраслях народного хозяйства. Они имеют относительно небольшую мощность и невысокую стоимость. Защита и автоматика таких электродвигателей должны отличаться простотой устройства и обслуживания, малой трудоемкостью ремонта, экономичностью и надежностью. Этим требованиям удовлетворяют устройства защиты и автоматики, выполненные наиболее простыми средствами: плавкими предохранителями, разделителями автоматических выключателей и тепловыми реле магнитных пускателей. Если коммутационным аппаратом служит контактор, то устройства защиты и автоматики выполняют на оперативном переменном токе, используя первичные и вторичные реле косвенного действия.

## 2. Описание установки

Схема защиты минимального напряжения, выполненная с помощью двух реле минимального напряжения KV1 и KV2, питаемых от разных линейных напряжений одного измерительного трансформатора напряжения TV.

Применение двух реле напряжения повышает надежность работы защиты; так, при обрыве в цепи питания KV1, оно сработает и замкнет свой контакт в цепи питания катушки реле времени КТ, но схема не работает, если нет понижения напряжения в сети, так как не сработает реле KV2. Обрыв же в цепях питания обоих реле KV1 и KV2 маловероятен.

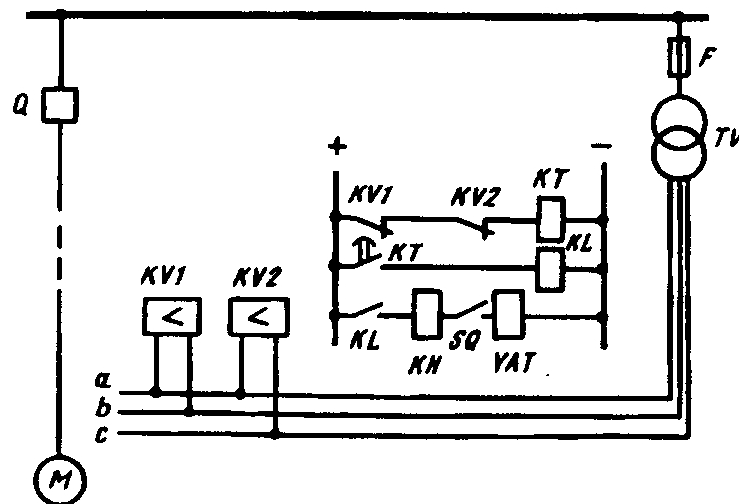


Рис. 15. Схема защиты электродвигателя от понижения напряжения

## 3. Порядок выполнения

1. Перед испытанием на стенде необходимо убедиться в том, что: автомат в положении «откл.», ЛАТР в нулевом положении, см. рис. 5.
2. Собрать схему цепей оперативного управления рис. 15.

3. Подключить реле минимального напряжения KV1 и KV2 к ЛАТРу.
4. Изменяя напряжение добиться сработки реле KV1 и KV2.
5. Изменяя величину уставки реле напряжения повторить опыт и определить значения напряжения при сработке и возврате реле минимального напряжения.
6. Полученные значения записать в таблицу 4.

Таблица 4.

	$U_{ср\text{аб}}$ , В	$U_{в\text{озвр}}$ , В	$k_{в\text{озв}}$
KV1			
KV2			

#### 4. Контрольные вопросы

1. Чем опасно снижение напряжения для работы АД.
2. Защищает ли схема рис. 15 от потери (обрыва) фазы.
3. Объяснить необходимость в схеме рис. 15 реле времени.
4. Как измениться схема соединений контактов при использовании «нормально-открытых» контактов реле KV1 и KV2.
5. Как измениться схема при подключении сигнальной лампы сработки защиты.

#### Подготовка к выполнению лабораторных работ.

Лабораторные занятия по дисциплине АСЭС является составной частью общего процесса обучения и проводится в первой половине пятого года обучения. Во время проведения работ для выработки необходимых приемов и навыков по испытанию вторичной аппаратуры, а также по сборке и проверке схем устройств вторичной коммутации студентам при работе в лаборатории АСЭС предоставляется большая самостоятельность по сравнению с работой в лаборатории электрических и электронных аппаратов. Поэтому от каждого студента требуется высокая дисциплинированность, внимательность и сознание ответственности при работе в лаборатории АСЭС на всех ее стадиях, начиная с подготовки к выполнению работ и кончая оформлением отчета.

Подготовка к лабораторному практикуму заключается в следующем:

До начала лабораторного практикума «АСЭС» студенты должны повторить материал, пройденный по дисциплине «Электрические и электронные аппараты».

Все студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности и противопожарным мероприятиям. На протяжении всего времени прохождения лабораторных занятий студенты обязаны соблюдать правила безопасного проведения работ.

Перед началом сборки схем установить, какими выключающими устройствами подается на схему напряжение, какой величины и какого рода

тока это напряжение. Убедиться, что все выключающие устройства находятся в отключенном положении;

Если приборы рассчитаны на несколько пределов измерения, а аппараты допускают включение на разные напряжения, то перед сборкой схемы следует и приборы, и аппараты включить для работы на напряжение, предусмотренное заданием;

Сборку схем следует производить так, чтобы они получались возможно наглядней, не применять излишне длинных соединительных проводов и слишком коротких (внатяжку), под один зажим подключать не более двух проводников. Надежно закреплять концы соединительных проводов в зажимах. Применять провода без наконечников и с нарушенной изоляцией запрещается;

Строго соблюдать последовательность работ, указанную в задании;

При измерениях работать на таких пределах, чтобы брать отсчет во второй половине шкалы прибора (нельзя допускать, чтобы указатели заходили за пределы шкалы);

По окончании работы следует снять напряжение с собранной схемы, убедиться в достоверности полученных результатов измерений и наблюдений, доложить преподавателю об окончании работы, согласовать результаты работы, после чего разобрать схему и убрать рабочее место.

## **Отчет о работе.**

Письменный отчет о каждой работе выполняется на отдельных листах формата А4 или в ученической тетради. Графики, схемы и диаграммы выполняются на миллиметровой бумаге и прикладываются к отчету. В отчете должны быть отражены следующие сведения:

Название учебного заведения, номер группы, фамилия, имя и отчество студента, название лаборатории и номер лабораторной работы;

Перечень оборудования и приборов, их паспортные данные и основные характеристики;

Состояние оборудования (по результатам осмотра);

Результаты измерений и расчетов, сведенные в таблицу;

Принципиальные, монтажные и принципиально-монтажные схемы;

Графики и диаграммы;

Выводы по результатам работы;

Письменные ответы на вопросы к каждой работе.

Казанский Государственный Энергетический Университет  
( наименование учебного заведения)

Отчет по лабораторным работам

Иванов И.И.

(Ф.И.О. студента)

ЭХП-Х-ХХ

(№ учебной группы)

**Отчет**

(№ и наименование работы)

1. Сведения о проверяемом аппарате (паспортные данные и схемы внутренних соединений).
2. Результаты внешнего осмотра и измерения сопротивления изоляции.
3. Схемы испытаний для снятия характеристик и определения отдельных параметров проверяемого аппарата.
4. Результаты измерений при снятии характеристик и определения отдельных параметров проверяемого аппарата (полученные данные измерений и подсчетов записать в таблицу).
5. Применяемые измерительные приборы.

Наименование прибора	№ по схеме	Заводской номер	Пределы, на которых производились измерения	Примечания

6. Заключение о состоянии проверяемого аппарата.

7. Ответы на вопросы.

Дата выполнения работы и подпись учащегося.

Оценка работы.

Дата проверки отчета и подпись преподавателя лабораторного занятия.



## **Приемка и сдача рабочего места.**

Перед началом лабораторного практикума лаборатория АСЭС полностью приводится в готовность и уже к первому занятию все рабочие места должны быть укомплектованы оборудованием, приборами, соединительными проводами, необходимым инструментом.

В дальнейшем этот порядок должен строго соблюдаться. Для этого целесообразно организовать приемку и сдачу рабочего места.

На каждом рабочем месте должен находиться журнал приемки и сдачи рабочего места.

В журнале приемки и сдачи рабочего места перечисляются оборудование, приборы и приспособления, принадлежащие данному рабочему месту, а затем идут чистые листы, разграфленные на пять столбцов: первый столбец – порядковый номер; второй – дата занятий; третий – состояние рабочего места, оборудования, приборов и приспособлений; четвертый – фамилия, имя, отчество и подпись лица, сдающего рабочее место; пятый – фамилия, имя, отчество и подпись принимающего данное рабочее место.

Перед началом работ студент проверяет состояние рабочего места и расписывается в приеме, а в случае выявления каких-либо ненормальностей, докладывает об этом преподавателю.

По окончании работы студент расписывается в журнале о сдаче всего рабочего места. Если при этом имеются какие-либо отклонения от нормы, то студент должен их отметить в журнале приемки и сдачи рабочего места и доложить преподавателю, с тем чтобы последний мог принять соответствующие меры.

## **ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ РАСЧЕТНО ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ**

В течение семестра студент решает РГР на тему «Расчет релейной защиты промышленного предприятия». Каждая РГР должна быть выполнена на листах формата А4 чернилами любого цвета, кроме красного. Необходимо оставлять поля для замечаний рецензента шириной 4-5 см.

На титульном листе пишутся название учебного заведения, наименование дисциплины, темы и шифр РГР, фамилия и инициалы студента, ставится подпись студента. В конце работы следует оставить несколько чистых листов для рекомендаций и исправлений рецензента. Шифр РГР состоит из двух цифр, соответствующих номеру студента по списку в журнале. Варианты РГР приведены в таблице, схема расчетного задания на рис. 1.

РГР должна содержать: полученное задание, исследуемую систему и ее схему замещения с указанием всех расчетных параметров системы, необходимые вычисления с комментариями и результатами расчетов в виде таблиц и графиков. Если исправления незначительны, то они вносятся в сам текст работы, в противном случае работа оформляется заново.

Работа должна быть выполнена строго в указанные сроки.

При высылаемых исправлениях должна находиться прорецензированная работа и рецензия на нее.

### Данные вариантов РГР №1

Таблица 1.

№	$S_{\text{тр}}$ , кВ·А	$U_{\text{кз}}$ , %	$U_{\text{в}}$ , кВ	$K_{\text{T}}$	$I_{\text{к.з(6/10)}}$ , А	$I_{\text{к.з(0,4)}}$ , А	$I_{\text{1т.ном}}$ , А	$I_{\text{2т.ном}}$ , А
1	400	4,5	10	10/0,4	3200	1500	23,1	577
2	630	5,5	6	6/0,4	5100	1700	57,8	910
3	1000	5,5	10	10/0,4	6300	1600	57,8	1443
4	1600	5,5	6	6/0,4	5800	1800	153,9	2309
5	2500	5,5	10	10/0,4	6500	2000	144,3	3608
6	400	4,5	6	6/0,4	4800	1500	38,5	577
7	630	5,5	10	10/0,4	3200	1700	36,4	910
8	1000	5,5	6	6/0,4	5100	1600	36,2	1443
9	1600	5,5	10	10/0,4	6300	1800	92,3	2309
10	2500	5,5	6	6/0,4	5800	2000	240	3608
11	400	4,5	10	10/0,4	6500	1500	23,1	577
12	630	5,5	6	6/0,4	4800	1700	60,6	909
13	1000	5,5	10	10/0,4	3200	1600	57,7	1443
14	1600	5,5	6	6/0,4	5100	1800	153,9	2309
15	2500	5,5	10	10/0,4	6300	2000	144,3	3608
16	400	4,5	6	6/0,4	5800	1500	38,5	577
17	630	5,5	10	10/0,4	6500	1700	36,4	909
18	1000	5,5	6	6/0,4	4800	1600	96,2	1443
19	1600	5,5	10	10/0,4	3200	1800	92,4	2309
20	2500	5,5	6	6/0,4	5100	2000	240	3608
21	400	4,5	10	10/0,4	6300	1500	23,1	577
22	630	5,5	6	6/0,4	5800	1700	60,6	909
23	1000	5,5	10	10/0,4	6500	1600	57,7	1443
24	1600	5,5	6	6/0,4	4800	1800	153,9	2309
25	2500	5,5	10	10/0,4	3200	2000	144,3	3608
26	400	4,5	6	6/0,4	5100	1500	38,5	577
27	630	5,5	10	10/0,4	6300	1700	36,4	909
28	1000	5,5	6	6/0,4	5800	1600	96,2	1443

29	1600	5,5	10	10/0,4	6500	1800	92,4	2309
30	2500	5,5	6	6/0,4	4800	2000	240	3608

## Расчета релейной защиты цеховых трансформаторов

В качестве примера выберем типы защит и определим токи срабатывания защиты и реле цехового трансформатора типа ТМ, основные данные которого следующие:  $S_{Т.НОМ} = 630 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ ;  $U_{1Т.НОМ} / U_{2Т.НОМ} = 6,3/0,4 \text{ кВ}$ ;  $u_K = 5,5 \%$ ; группа соединения обмоток «треугольник – звезда с нулем»;  $I_{1Т.НОМ} = 57,8 \text{ А}$ ;  $I_{2Т.НОМ} = 910 \text{ А}$  (рис. 1а, с. 21). Решение аналогичных задач приводится в [2], пример 2-1, с. 149; пример 2-2, с. 157.

Рассмотрим защиту цехового трансформатора при междуфазных КЗ в обмотках и на выводах высокого напряжения (ВН), при внешних КЗ, при однофазных КЗ и при перегрузке.

Для защиты трансформатора *при междуфазных КЗ* в обмотках и на выводах ВН принимаем ТО без выдержки времени с использованием реле типа РТ-40. Схема соединения «ТТ – неполная звезда».

**Токи срабатывания защиты (отсечки) и реле определяем по формулам**

$$I_{с.з} = k_{отс} I_{К\max} = 1,4 \cdot 1050 = 1470 \text{ А};$$

$$I_{с.р} = \frac{k_{сх} I_{с.з}}{K_I} = \frac{1 \cdot 1470}{150/5} = 49 \text{ А},$$

где  $I_{К\max}$  – ток, проходящий через ТТ защиты при трехфазном КЗ на стороне низкого напряжения (НН):

$$I_{К\max} = I_K^{(3)} = \frac{I_{1Т.НОМ}}{u_K \%} \cdot 100 = \frac{57,8 \cdot 100}{5,5} = 1050 \text{ А},$$

где  $I_{1Т.НОМ}$  – номинальный первичный ток трансформатора;  $u_K$  – напряжение КЗ трансформатора, %;  $I_K^{(3)}$  – ток трехфазного КЗ.

Выбираем реле тока РТ-40/100 и промежуточное реле РТ-26.

Для защиты трансформатора *при внешних КЗ* и резервирования ТО и газовой защиты принимаем МТЗ с выдержкой времени. Схема соединений «ТТ – неполная звезда». Максимальную токовую защиту отстраиваем от тока самозапуска полностью заторможенных ответственных двигателей, присоединенных к шинам НН. Токи срабатывания защиты и реле находим по формулам

$$I_{c.3} = \frac{k_{отс} I_{сам}}{k_B} = \frac{k_{отс} I_{сам} I_{1т.ном}}{k_B} = \frac{1,2 \cdot 3 \cdot 57,8}{0,8} = 260 \text{ А};$$

$$I_{c.p} = \frac{k_{сх} I_{c.3}}{K_I} = \frac{1 \cdot 260}{150/5} = 8,67 \text{ А},$$

где  $k_{сам}$  – коэффициент самозапуска, принимаемый равным 3 – 3,5, когда нет данных о присоединенных двигателях; в этом случае можно считать, что ток в трансформаторе возрастает в 3 – 3,5 раза по сравнению с номинальным током.

Принимаем реле тока РТ-40/20.

Коэффициент чувствительности защиты определяем при трехфазном КЗ за трансформатором (т.е. на стороне НН) по формуле

$$k_{ч} = \frac{I_K^{(3)}}{I_{c.3}} = \frac{1050}{260} = 4,04.$$

Приведенная формула справедлива для МТЗ (в двухфазном трехрелейном исполнении) трансформаторов со схемой соединения обмоток «треугольник – звезда с нулем». В этом случае два токовых реле включают на фазные токи, а одно реле – на сумму токов двух фаз; за счет такого включения повышается чувствительность защиты к двухфазным КЗ на стороне НН цеховых трансформаторов.

Для МТЗ в двухфазном двухрелейном исполнении реактированных линий, трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда – звезда с нулем»  $k_{ч}$  находят по формуле

$$k_{ч} = \frac{I_K^{(2)}}{I_{c.3}} = \frac{0,87 I_K^{(2)}}{I_{c.3}} = \frac{0,87 \cdot 1050}{260} = 3,5.$$

Выдержку времени МТЗ трансформатора выбирают из условия избирательности на ступень  $\Delta t$  выше наибольшей выдержки времени защит присоединений  $t_{пр}$ , питающихся от трансформатора, т.е.

$$t_T = t_{пр} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1,0 \text{ с.}$$

Если МТЗ не удовлетворяет требованию чувствительности, то ее выполняют с пуском от реле минимального напряжения.

Для защиты цехового трансформатора при *однофазных КЗ* в обмотке и на выводах НН, а также в сети НН принимаем МТЗ нулевой последовательности с выдержкой времени с использованием реле РТ-40. Защиту выполняем с помощью одного токового реле, включенного на ТТ, установленный в цепи

заземления нейтрали цехового трансформатора. В реле протекает полный ток однофазного КЗ.

Токи срабатывания защиты и реле определяем по формулам

$$I_{с.з} = k_{отс1} I_{с.з1} = k_{отс1} I_{от} k_{отс2} = 1,1 \cdot 1800 \cdot 1,2 \approx 2400 \text{ А},$$

где  $I_{с.з1}$  – ток срабатывания защиты нулевой последовательности на стороне 0,4 кВ, который согласуется, в свою очередь, с током отсечки  $I_{от}$  автоматического выключателя;  $k_{отс1} = 1,1$ ;  $k_{отс2} = 1,2$ ;

$$I_{с.р} = \frac{I_{с.з}}{K_I} = \frac{2400}{1500/5} = 8 \text{ А}.$$

Принимаем реле тока с запасом по шкале РТ-40/20.

Коэффициент чувствительности защиты нулевой последовательности определяем при однофазном КЗ на выводах НН трансформатора по формуле

$$k_{ч} = \frac{I_{к}^{(1)}}{I_{с.з}} = \frac{I_{к}^{(3)}}{I_{с.з}} = \frac{16600}{2400} = 6,9,$$

где  $I_{к}^{(1)}$  – минимальный ток однофазного КЗ на шинах НН; для цеховых трансформаторов с соединением обмоток «треугольник-звезда с нулем»  $I_{к}^{(1)} = I_{к}^{(3)}$ ;

$$I_{к}^{(3)} = \frac{I_{2т.ном}}{u_{к} \%} \cdot 100 = \frac{910 \cdot 100}{5,5} = 16600 \text{ А},$$

где  $I_{2т.ном}$  – номинальный вторичный ток трансформатора.

Выдержку времени защиты нулевой последовательности, установленной в нейтрали цехового трансформатора, отстраивают от времени срабатывания автоматических выключателей двигателей и принимают равной 0,5 с.

Для защиты цехового трансформатора при перегрузке принимаем МТЗ, устанавливаемую со стороны ВН трансформатора, выполняемую с помощью одного токового реле, включенного на фазный ток, и действующую на сигнал с выдержкой времени. Максимальную токовую защиту отстраиваем от номинального тока трансформатора.

Токи срабатывания защиты и реле определяем по формулам

$$I_{с.з} = \frac{k_{отс}}{k_{в}} I_{1т.ном} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 57,8 = 75,8 \text{ А},$$

$$I_{c.p} = \frac{k_{сх}}{K_I} I_{c.з} = \frac{1 \cdot 75,8}{100/5} = 3,79 \text{ А},$$

где  $k_{отс} = 1,05$ ;  $I_{1т.ном}$  – первичный номинальный ток трансформатора.

Выдержку времени МТЗ в этом случае выбирают больше времени защиты трансформатора от КЗ.

Полная схема релейной защиты цехового трансформатора показана на рис. 1.

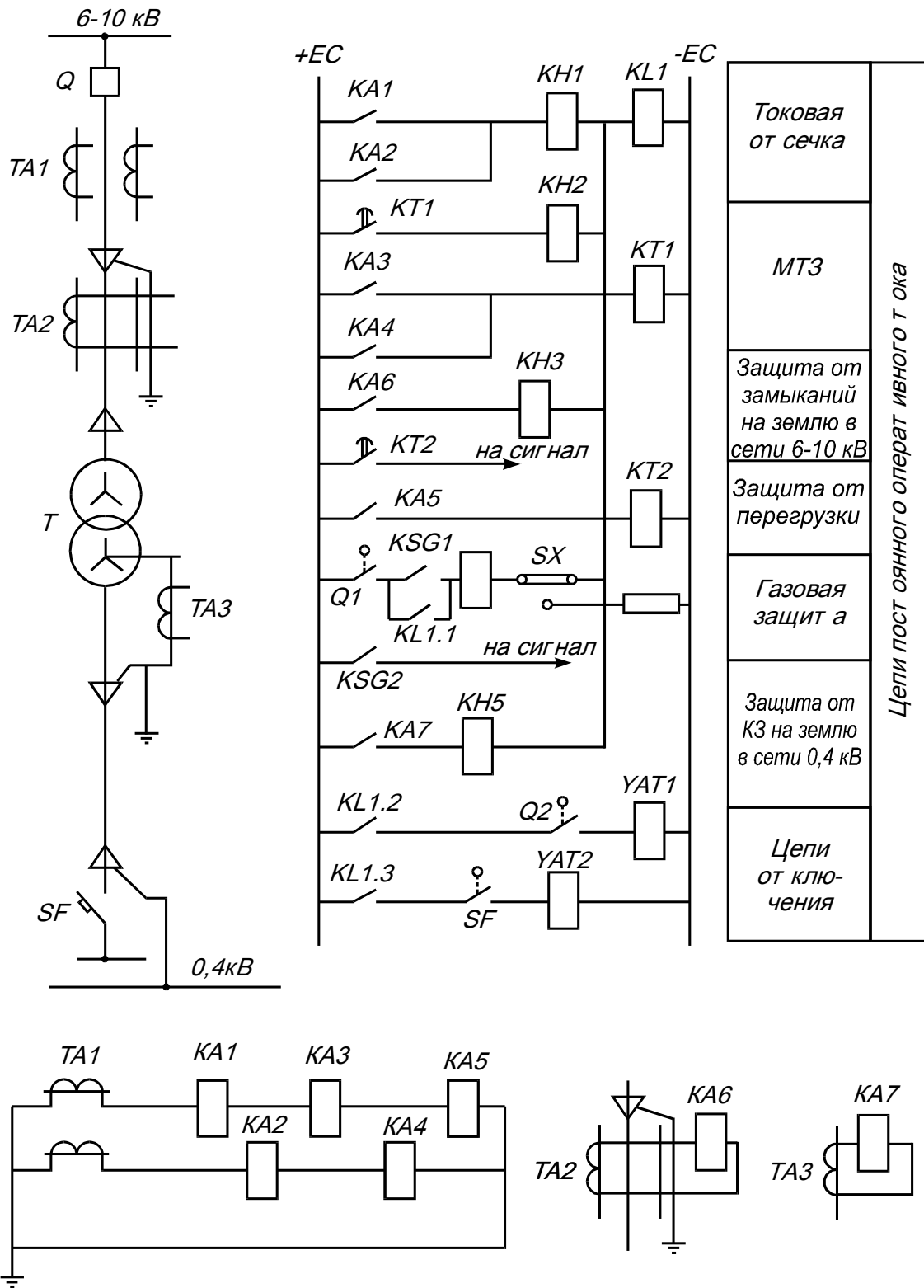


Рис. 1. Схема релейной защиты цехового трансформатора

**Варианты РГР №2**

Таблица 2.

№	T1,	W1	L1,	W2	L2,	W3	L3,	W4	L4,	T3-T6
---	-----	----	-----	----	-----	----	-----	----	-----	-------

	MB·A		кМ		кМ		кМ		кМ	MB·A	ВН/НН, кВ
1	16	AC-50	90	4*3* 150	1	2*3* 120	0,35	3* 120	0,5	0,4	6/0,4
2	25	A-70	50	3*3* 240	0,5	3*3* 150	0,5	3* 150	0,75	0,4	10/0,4
3	40	A-95	100	4*3* 240	0,75	3*3* 175	1	3* 120	0,5	0,25	6/0,4
4	32	A-70	40	5*3* 150	2	3*3* 120	0,75	3* 70	1	0,16	6/0,4
5	25	AC-95	80	4*3* 240	1,5	3*3* 150	0,8	3* 95	0,9	0,4	6/0,4
6	63	A-120	90	3*3* 240	1,25	2*3* 120	1,2	3* 35	0,4	0,16	10/04
7	40	A-150	50	2*3* 240	1,5	3* 120	0,25	3* 50	0,5	0,25	6/04
8	40	A-95	115	4*3* 150	1,75	3*3* 175	1,55	3* 95	0,55	0,4	6/0,4
9	40	AC-70	150	4*3* 175	1,2	4*3* 120	1,75	3* 95	1,2	0,16	10/0,4
10	25	AC-50	90	3*3* 240	1,55	4*3* 150	0,65	3* 95	0,65	0,4	6/0,4
11	63	A-120	90	3*3* 240	1,25	2*3* 120	1,2	3* 35	0,4	0,16	10/04
12	16	A-70	100	3*3* 150	1	3*3* 120	0,35	3* 95	1,5	0,16	6/0,4
13	63	AC-120	105	4*3* 185	1,5	3*3* 120	1,1	3* 150	0,75	0,4	10/04
14	40	A-95	95	4*3* 120	1,5	3*3* 150	1,2	3* 120	0,5	0,4	10/0,4
15	32	AC-95	110	4*3* 120	1,85	3*3* 120	1,75	3* 70	1,2	0,25	6/0,4
16	25	A-95	125	3*3* 240	1,5	4*3* 120	1,25	3* 95	1,1	0,4	6/0,4
17	63	A-120	125	4*3* 240	1	3*3* 120	1	3* 35	0,5	0,63	10/04
18	40	A-120	160	3*3* 185	1,5	2*3* 120	0,5	3* 50	1,5	0,25	6/04
19	40	A-95	150	4*3* 240	0,75	3*3* 175	1	3* 120	0,5	0,25	6/0,4
20	32	A-150	140	4*3* 185	2	3*3* 120	2	3* 95	1	0,4	6/0,4
21	25	AC-120	180	3*3* 240	1,5	3*3* 150	1,5	3* 120	0,9	0,16	6/0,4
22	63	A-120	190	3*3* 240	1,25	2*3* 120	2,2	3* 50	0,4	0,25	10/04
23	40	A-185	150	4*3* 240	1,5	3* 120	2,25	3* 95	0,5	0,4	6/04
24	16	A-95	100	5*3* 240	0,75	3*3* 175	1	3* 120	0,5	0,25	6/0,4



25	25	АС-70	110	3*3* 150	0,8	3*3* 120	0,5	3* 70	1	0,16	10/0,4
26	16	А-95	140	5*3* 240	0,25	3*3* 150	0,9	3* 70	0,9	0,4	10/0,4
27	25	АС-120	110	5*3* 240	0,11	2*3* 120	1	3* 50	0,4	0,25	6/0,4
28	40	АС-150	120	5*3* 240	0,9	3* 120	1,1	3* 70	0,5	0,4	10/0,4
29	25	АС-185	50	2*3* 240	1	2*3* 70	0,6	3* 120	0,8	0,16	6/0,4
30	16	А-70	80	3*3* 240	1,75	3* 5	0,9	3* 50	1,1	0,25	10/0,4

Пример расчета релейной защиты промышленного предприятия

### Расчет токов КЗ

Для выбора токов срабатывания и проверки чувствительности релейной защиты необходимо рассчитать токи КЗ. Обычно при расчете рассматривают трехфазное КЗ. Так как трехфазное КЗ является симметричным, достаточно произвести расчет для одной фазы. Для расчета токов КЗ составляют расчетную схему, на которой указывают все элементы системы электроснабжения (генераторы, линии, трансформаторы, реакторы). На основе расчетной схемы составляют схему замещения, на которой все элементы системы электроснабжения заменяют соответствующими сопротивлениями, выражаемыми в омах, что упрощает расчет тока КЗ.

В качестве примера определим ток КЗ в точках  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$  и  $K4$  системы электроснабжения (рис. 1.), если известны параметры элементов системы. Расчет выполняем в именованных единицах для среднего номинального напряжения  $U_{с.ном} = 6,3$  кВ.

Определяем сопротивления воздушной линии  $W1$

$$R'_{W1} = R_{01}l_1 = 0,46 \cdot 10 = 4,6 \text{ Ом};$$

$$X'_{W1} = x_{01}l_1 = 0,4 \cdot 10 = 4,0 \text{ Ом}.$$

Приводим сопротивления к  $U_{с.ном}$ :

$$R_{W1} = \frac{R'_{W1}}{K_U^2} = \frac{4,6}{(115/6,3)^2} = 0,014 \text{ Ом};$$

$$X_{W1} = \frac{X'_{W1}}{K_U^2} = \frac{4,0}{(115/6,3)^2} = 0,012 \text{ Ом}.$$

Определяем сопротивление трансформатора  $T1$ :

$$X_{T1} = Z_{T1} = \frac{u_{kT1} \% U_{с.НОМ}^2}{100 S_{T1НОМ}} = \frac{10,5 \cdot 6,3^2}{100 \cdot 16} = 0,26 \text{ Ом.}$$

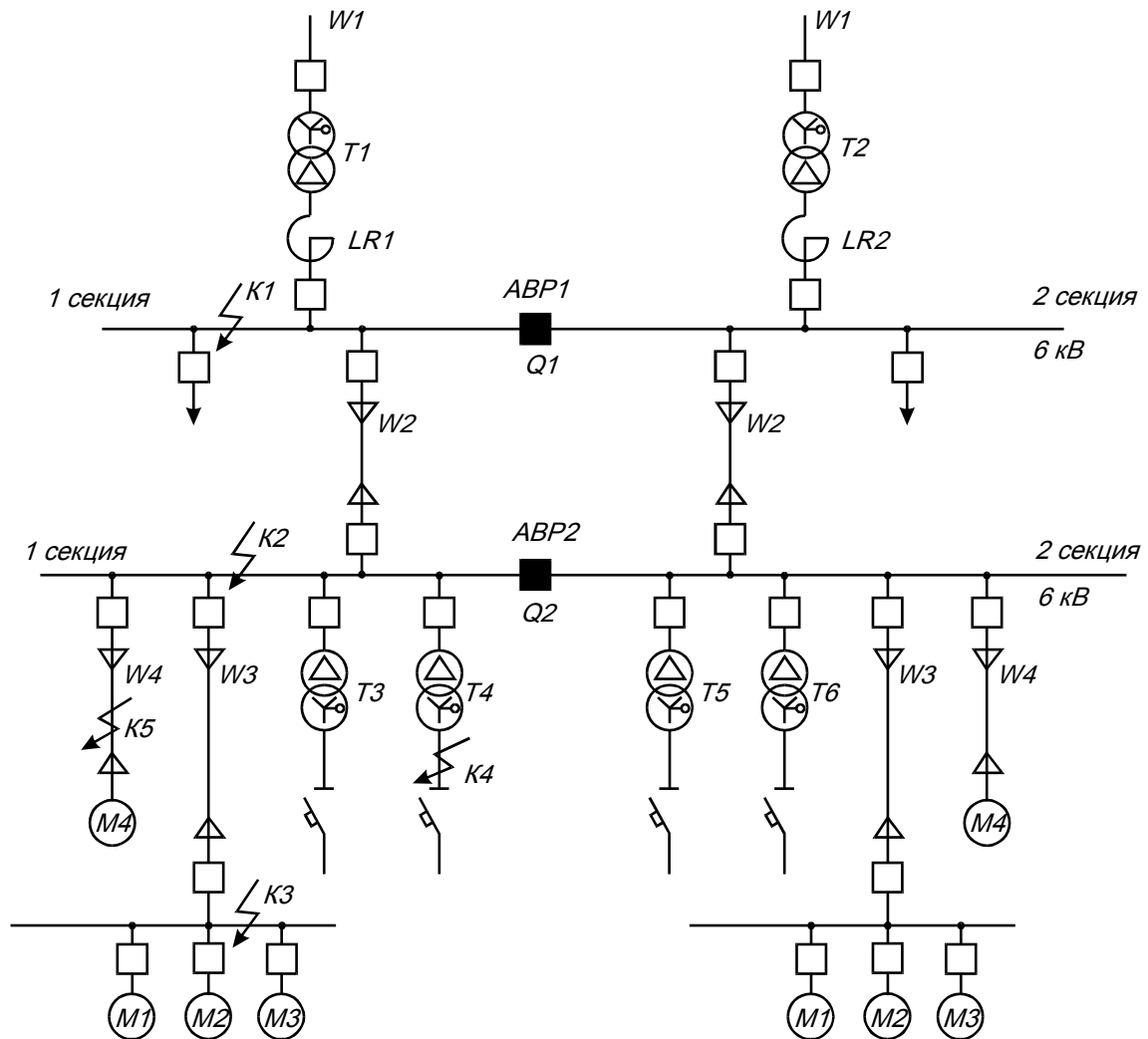


Рис. 2. Пример схема электроснабжения промышленного предприятия

Параметры схемы: линия  $W1$  – А-70;  $l_1 = 70$  км; трансформатор  $T1$  – ТДН; 16000 кВ·А, 110/6 кВ; линия  $W2$  – 5×3×150,  $l_2 = 1$  км; линия  $W3$  – 2×3×150,  $l_3 = 0,3$  км; линия  $W4$  – 3×150,  $l_4 = 0,5$  км; трансформаторы  $T3$  –  $T6$  – ТМ, 630 кВ·А, 6/0,4 кВ.

Определим сопротивление реактора  $LR1$ :

$$X_{LR1} = \frac{x\% U_{с.НОМ}}{100\sqrt{3} I_{р.НОМ}} = \frac{8 \cdot 6,3}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 2,0} = 0,146 \text{ Ом}.$$

Определяем сопротивление кабельной линии W2:

$$X_{W2} = \frac{x_{02} l_2}{n_2} = \frac{0,074 \cdot 1}{5} = 0,015 \text{ Ом};$$

$$R_{W2} = \frac{R_{02} l_2}{n_2} = \frac{0,206 \cdot 1}{5} = 0,041 \text{ Ом}.$$

Определим сопротивление кабельной линии W3:

$$X_{W3} = x_{03} l_3 = 0,074 \cdot 0,3 = 0,022 \text{ Ом};$$

$$R_{W3} = R_{03} l_3 = 0,206 \cdot 0,3 = 0,062 \text{ Ом}.$$

Определим сопротивление кабельной линии W4:

$$X_{W4} = \frac{x_{04} l_4}{n_4} = \frac{0,074 \cdot 0,5}{2} = 0,019 \text{ Ом};$$

$$R_{W4} = \frac{R_{04} l_4}{n_4} = \frac{0,206 \cdot 0,5}{5} = 0,052 \text{ Ом}.$$

Определяем сопротивление трансформатора T3:

$$Z_{T3} = \frac{u_{кТ\%} U_{с.НОМ}^2}{100 S_{T3НОМ}} = \frac{5,5 \cdot 6,3^2}{100 \cdot 0,63} = 3,47 \text{ Ом};$$

$$R_{T3} = \frac{\Delta P_{кТ3} U_{с.н.н}^2}{S_{T3НОМ}^2 \cdot 10^3} = \frac{12 \cdot 6,3^2}{0,63^2 \cdot 10^3} = 1,2 \text{ Ом};$$

$$X_{T3} = \sqrt{Z_{T3}^2 - R_{T3}^2} = \sqrt{3,47^2 - 1,2^2} = 3,26 \text{ Ом}.$$

Ток КЗ в расчетных точках определяем по формуле

$$I_{ki} = \frac{U_{с.НОМ}}{\sqrt{3} Z_{ki}},$$

где  $R_{01}, R_{02}, R_{03}, R_{04}$  – удельные активные сопротивления соответственно линии  $W_1, W_2, W_3$  и  $W_4$ ;  $x_{01}, x_{02}, x_{03}, x_{04}$  – удельные индуктивные сопротивления соответственно линии  $W_1, W_2, W_3$  и  $W_4$ ;  $l_1, l_2, l_3, l_4$  – длина соответственно линии

$W_1, W_2, W_3$  и  $W_4$ ;  $n_2, n_4$  – число кабелей соответственно в линии  $W_2$  и  $W_4$ ;  $u_{кТ1\%}$ ,  $u_{кТ3\%}$  – напряжения КЗ соответственно трансформаторов  $T1, T3$ , %;  $S_{T1ном}$ ,  $S_{T3ном}$  – полные номинальные мощности соответственно трансформаторов  $T1$  и  $T3$ ;  $\Delta P_{кТ3}$  – потери КЗ в трансформаторе  $T3$ ;  $K_U$  – коэффициент трансформации трансформатора напряжения;  $I_{р.ном}$  – номинальный ток реактора;  $Z_{\Sigma i}$  – суммарное сопротивление цепи от источника питания до расчетной точки КЗ. При  $X_{\Sigma i}/3 > R_{\Sigma}$  ток КЗ  $I_{ki}$  определяем по  $x_{\Sigma i}$ .

Результаты расчета сопротивлений и токов КЗ сводим в табл. 3. Схема замещения представлена на рис. 3.

### Результаты расчета сопротивлений и токов КЗ

Таблица 3.

Расчет точка КЗ ( $i$ )	$K1$	$K2$	$K3$	$K4$	$K5$
$x_{\Sigma i}$ , Ом	0,418	0,423	0,445	3,683	0,442
$R_{\Sigma i}$ , Ом	0,014	0,055	0,107	0,531	0,117
$I_{\Sigma i}$ , кА	8,7	8,61	8,18	1,00	8,24

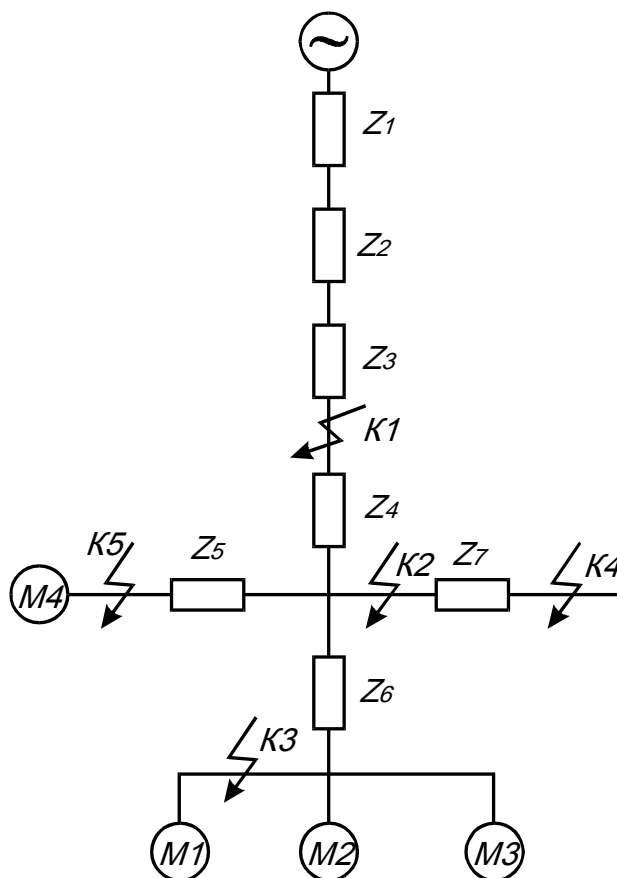


Рис. 3. Схема замещения к расчету токов КЗ:  $Z_1$  – сопротивление линии  $W1$ ;  $Z_2$  – сопротивление трансформатора  $T1$ ;  $Z_3$  – сопротивление реактора  $LR1$ ;  $Z_4$  –

сопротивление линии  $W_2$ ;  $Z_5$  – сопротивление линии  $W_4$ ;  $Z_6$  – сопротивление линии  $W_3$ ;  $Z_7$  – сопротивление трансформатора  $T_4$ .

## Расчет релейной защиты электродвигателей

В качестве примера выберем типы защит и определим токи срабатывания защиты реле АД типа АН-15-54-8 [14].

Рассмотрим защиту АД при междуфазных КЗ, перегрузке, замыкании на землю и понижении напряжения.

Для защиты АД *при междуфазных КЗ* в обмотке статора принимаем ТО с использованием токовых реле типа РТ-40. Схема соединения ТТ – неполная звезда. Применение ТО уменьшает длительность снижения напряжения на шинах при КЗ на зажимах двигателей, что способствует успешному самозапуску остальных, неповрежденных двигателей. Токтовую отсечку отстраиваем от пускового тока двигателя. Ток срабатывания защиты (отсечки) и реле находим по формулам:

$$I_{c.z.} = k_{omc} I_{n \max} = 1,4 \cdot 961 = 1345 \text{ А};$$

$$I_{c.p.} = \frac{k_{cx} I_{c.z.}}{K_I} = \frac{1 \cdot 1345}{200/5} = 33,6 \text{ А},$$

где  $k_{omc}$  – коэффициент отстройки;  $I_{n \max}$  – пусковой максимальный ток двигателя;  $k_{cx}$  – коэффициент схемы;  $K_I$  – коэффициент трансформации ТТ.

Выбираем реле тока РТ-40/50 и промежуточное реле РП-26 с указателем срабатывания. Промежуточное реле замедляет время действия защиты, что позволяет отстроиться от апериодической составляющей пускового тока.

Коэффициент чувствительности защиты находим по формуле:

$$k_{\chi} = \frac{I_{\kappa}^{(2)}}{I_{c.p.} K_I} = \frac{I_{\kappa}^{(3)} \cdot 0,867}{I_{c.p.} K_I} = \frac{0,867 \cdot 8180}{33,6 \cdot 40} = 5,28.$$

Для защиты двигателя *при перегрузке* принимаем МТЗ с использованием токового реле РТ-40, включенного на разность токов двух фаз.

Ток срабатывания защиты и реле при перегрузке находим по формулам

$$I_{c.z.} = \frac{k_{omc} I_{\partial.ном}}{k_{\epsilon}} = \frac{1,2 \cdot 184}{0,8} = 276 \text{ А};$$

$$I_{c.p.} = \frac{k_{cx} I_{c.z.}}{K_I} = \frac{\sqrt{3} \cdot 276}{200/5} = 12 \text{ А},$$

где  $I_{\partial.ном}$  – номинальный ток двигателя;  $k_{\epsilon}$  – коэффициент возврата.

Выбираем реле тока РТ-40/20.

Согласование времени действия защиты при перегрузке с временем самозапуска двигателя производим по выражению

$$t_{c.д.} > t_{n.д.} > t_{c.ф.},$$

где  $t_{c.д.}$ ,  $t_{c.ф.}$  – допустимое и фактическое времена разгона двигателя при самозапуске;  $t_{n.д.}$  – допустимое время действия защиты при перегрузке.

Из расчета самозапуска известно

$$t_{c.ф.} = 19,6 \text{ с}; t_{c.д.} = 31,1 \text{ с}.$$

Выбираем реле времени с установкой, равной 22 с.

Для решения вопроса о применении защиты двигателя *при однофазных замыканиях на землю* определяем ток срабатывания защиты по формуле:

$$I_{c.з.} = k_{омс} k_{\epsilon} I_C,$$

где  $k_{омс} = 1,2 \div 1,3$ ;  $k_{\epsilon}$  – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока двигателя  $I_C$  при внешних перемежающихся замыканиях на землю ( $k_{\epsilon} = 4 \div 5$  для защиты без выдержки времени;  $k_{\epsilon} = 1,5 \div 2$  для защиты с временем действия 1-2 с).

Выбираем  $k_{\epsilon} = 1,75$ , так как применяемые для этой цепи реле РТЗ-50 имеют задержку срабатывания.

$$I_C = \sqrt{3} U_{\partial.ном} \omega C_{\partial} \cdot 10^{-3},$$

где  $C_{\partial}$  – емкость двигателя, определяемая по формуле

$$C_{\partial} = \frac{k_2 S_{\partial.ном}^{3/4}}{3(U_{\partial.ном} + 3600)n_{\partial}^{1/3}} = \frac{40 \cdot 1831^{3/4}}{3(6000 + 3600)750^{1/3}} = 0,043 \text{ мкФ/фаза},$$

где  $k_2$  – коэффициент, учитывающий класс изоляции ( $k_2 = 40$  для изоляции класса Б при  $t = 25^{\circ} \text{ C}$ );  $S_{\partial.ном}$  – номинальная мощность двигателя;  $n_{\partial}$  – частота вращения двигателя.

Таким образом

$$I_{c.з.} = k_n k_{\sigma} \sqrt{3} U_{\partial.ном} \omega C_{\partial} \cdot 10^{-3} = 1,25 \cdot 1,75 \cdot 1,73 \cdot 6 \cdot 314 \cdot 0,043 \cdot 10^{-3} = 0,31 \text{ А}.$$

Защиту при замыканиях на землю не предусматриваем, исходя из того, что для двигателей с  $U_{\text{д.ном}} = 6 \text{ кВ}$  и  $P_{\text{д.ном}} = 1600 \text{ кВт}$  при токе срабатывания защиты менее  $10 \text{ А}$  по ПУЭ она не устанавливается.

Напряжение срабатывания защиты двигателя *при понижении напряжения* выбираем таким образом, чтобы обеспечивался самозапуск других более ответственных двигателей, т.е.  $(0,6 - 0,7) U_{\text{д.ном}}$ .

Для питания реле минимального напряжения используем ТН, которые установлены в распределительных пунктах (РП) для контроля и учета электроэнергии. Считаем, что в РП установлены трансформаторы напряжения НТМИ-6.

Выбираем реле напряжения переменного тока РН-54/160 и находим напряжение срабатывания реле:

$$U_{\text{с.р.}} = \frac{0,7U_{\text{д.ном}}}{k_{\text{в}}k_{\text{отс}}K_U} = \frac{0,7 \cdot 6000}{1,2 \cdot 1,25 \cdot 60} \approx 47 \text{ В.}$$

Время срабатывания защиты минимального напряжения принимаем равным  $0,5 \text{ с}$ .

Проверяем ТТ из условия 10%-ной погрешности. Для этого находим сопротивление вторичной нагрузки ТТ при трехфазном КЗ:

$$Z_{\text{н}} = \sqrt{3}(R_{\text{np}} + Z_{\text{p1}} + Z_{\text{p2}}) + R_{\text{пер}},$$

где  $R_{\text{np}}$  – сопротивление соединительных проводов;  $Z_{\text{p1}}$ ,  $Z_{\text{p2}}$  – сопротивления реле  $КА1$  и  $КА2$ ;  $R_{\text{пер}}$  – переходное сопротивление контактов;  $R_{\text{пер}} = 0,1 \text{ Ом}$ .

$$R_{\text{np}} = \frac{1}{\gamma s} = \frac{30}{34,5 \cdot 2,5} = 0,35 \text{ Ом};$$

$$Z_{\text{p1}} = \frac{S_{\text{p1}}}{I_{\text{с.р.1}}^2} = \frac{0,8}{50^2} = 0,0003 \text{ Ом};$$

$$Z_{\text{p2}} = \frac{S_{\text{p2}}}{I_{\text{с.р.2}}^2} = \frac{0,5}{10^2} = 0,005 \text{ Ом},$$

где  $l$ ,  $s$  – длина и сечение соединительных алюминиевых проводов;  $\rho = 1/\gamma$  – удельное сопротивление;  $S_{\text{p1}}$ ,  $S_{\text{p2}}$  – мощности соответственно реле  $КА1$  и  $КА2$ ;  $I_{\text{с.р.1}}$ ,  $I_{\text{с.р.2}}$  – ток срабатывания соответственно реле  $КА1$  и  $КА2$ .

Таким образом

$$Z_{\text{н}} = 1,73(0,35 + 0,0003 + 0,005) + 0,1 = 0,71 \text{ Ом}.$$

В табл. 3 приведены расчетные формулы для определения вторичной нагрузки ТТ.

Кратность расчетного первичного тока  $I_{1расч}$  к первичному номинальному  $I_{1ном}$  току ТТ определяем по формуле

$$k_{10} = \frac{I_{1расч}}{k_1 I_{1ном}} = \frac{k_2 I_{1ном}}{k_1 I_{1ном}} = \frac{k_2 \cdot 1,1 I_{с.з.}}{k_1 I_{1ном}} = \frac{1,25 \cdot 1,1 \cdot 1345}{0,8 \cdot 200} = 11,56,$$

где  $k_1$  – коэффициент, учитывающий возможное ухудшение характеристики намагничивания установленного ТТ по сравнению с типовой (средней) характеристикой;  $k_2$  – коэффициент, учитывающий неточность расчетов и влияние апериодической составляющей тока КЗ на работу ТТ, принимаемый по табл. 5.;  $I_{1max}$  – максимальное значение первичного тока, при котором должна обеспечиваться работа ТТ с погрешностью не более 10 %;  $I_{1max}$  выбирают в зависимости от вида и принципа работы защиты.

Выбор  $I_{1max}$  производят на основании следующих положений:

- 1) для ТО и МТЗ с независимой характеристикой  $I_{1max} = 1,1 I_{с.з.}$ ;
- 2) для МТЗ с зависимой характеристикой  $I_{1max}$  должен соответствовать току КЗ, при котором происходит согласование по времени защит смежных элементов и определяют необходимую степень избирательности (селективности)  $\Delta t$ ; однако на практике обычно  $I_{1max}$  принимают равным току, при котором начинается установившаяся (независимая) часть характеристики;
- 3) для дифференциальной защиты  $I_{1max}$  принимают равным наибольшему значению току при внешнем (сквозном) КЗ.

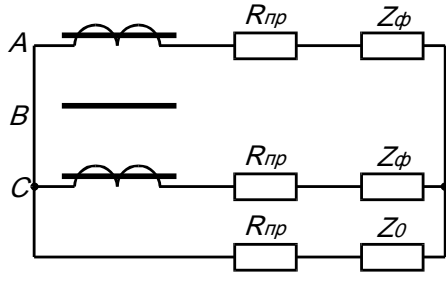
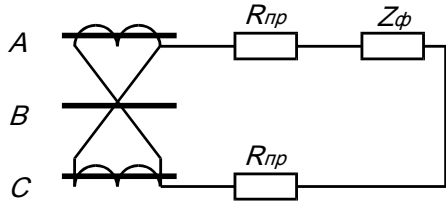
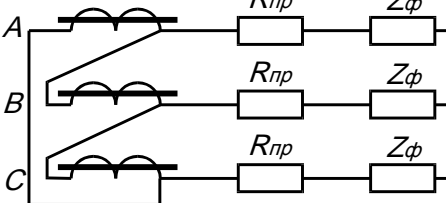
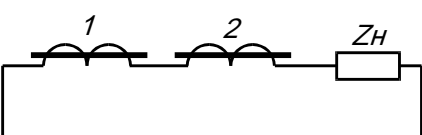
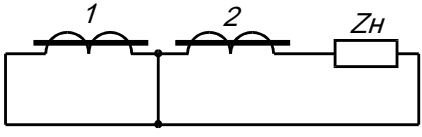
По кривой 10%-ной погрешности для трансформатора тока ТПЛ-10 находим  $Z_{н.дон} = 0,6 \text{ Ом}$ , т.е.  $Z_{н.дон} < Z_n$ , поэтому уменьшаем сопротивление вторичной нагрузки ТТ за счет увеличения сечения соединительных проводов до 6 мм<sup>2</sup>.

### Формулы для определения вторичной нагрузки трансформаторов тока

Таблица 4.

Схема соединения ТТ и вторичной нагрузки	Вид КЗ	Вторичная нагрузка ТТ
	Трехфазное, двухфазное	$Z_n = R_{нр} + R_{нер} + Z_{\phi}$ $R_{нер} \approx 0,1$
	Однофазное	$Z_n = 2R_{нр} + R_{нер} + Z_{\phi} + Z_0$



	Трёхфазное	$Z_n = \sqrt{3}(R_{гр} + Z_\phi) + R_{нер}$ ( $Z_\phi = Z_{обр}$ )
	Двухфазное АВ или ВС	$Z_n = 2R_{гр} + Z_\phi + Z_{обр} + R_{нер}$
	Двухфазное за трансформатор ом тока Y / Δ	$Z_n = 3R_{гр} + R_{нер} + Z_\phi + 2Z_{обр}$
	Трёхфазное	$Z_n = \sqrt{3}(2R_{гр} + Z_\phi) + R_{нер}$
	Двухфазное АС	$Z_n = 4R_{гр} + 2Z_\phi + R_{нер}$
	Двухфазное АВ или ВС	$Z_n = 2R_{гр} + Z_\phi + R_{нер}$
	Трёхфазное	$Z_n = 3(R_{гр} + Z_\phi) + R_{нер}$
	Однофазное	$Z_n = 2(R_{гр} + Z_\phi) + R_{нер}$
	—	$Z_n = 0,5Z'_n$ , где $Z'_n$ – нагрузка, подсчитанная по вышеприведенным формулам; 1,2 – ТТ одного класса точности
	—	$Z_n = 2Z'_n$ , где $Z'_n$ – нагрузка, подсчитанная по вышеприведенным формулам; 1,2 – ТТ одного класса точности

### Значения коэффициента $k_2$

Таблица 5.

Тип защиты	Время действия защиты, с	Коэффициент $k_2$
Максимальная токовая и токовая отсечка	Любое	1,2 – 1,3
Все направленные	0,5	1,2 – 1,3
Направленные и дистанционные	0,5	1,8 – 2,0
Дифференциальные с НТТ	0	1,2 – 1,3
Дифференциальные без НТТ	0	1,8 – 2,0

Любые устройства, не требующие трансформации тока	не точной	Любое	1,2 – 1,3
---	-----------	-------	-----------

В качестве примера выберем типы защит и определим токи срабатывания защиты и реле СД типа СДН-16-54-10.

Защита СД выполняется аналогично защите АД и дополняется защитой при асинхронном ходе.

Токи срабатывания токовой отсечки и реле при междуфазных КЗ:

$$I_{с.з.} = k_{отс} I_{n\max} = 1,4 \cdot 1210 = 1694 \text{ А};$$

$$I_{с.р.} = \frac{k_{сх} I_{с.з.}}{K_I} = \frac{1 \cdot 1694}{300/5} = 28,2 \text{ А}.$$

Округляем ток срабатывания реле до 30 А. Выбираем токовое реле РТ-40/50 и промежуточное реле РП-26.

Коэффициент чувствительности защиты находим по формуле

$$k_{\chi} = \frac{I_{\kappa}^{(2)}}{I_{с.р.} K_I} = \frac{I_{\kappa}^{(3)} \cdot 0,867}{I_{с.р.} K_I} = \frac{0,867 \cdot 8240}{30 \cdot 60} = 3,97.$$

Токи срабатывания защиты и реле при перегрузке:

$$I_{с.з.} = \frac{k_{отс} I_{д.ном}}{k_{\sigma}} = \frac{1,2 \cdot 224}{0,8} = 336 \text{ А};$$

$$I_{с.р.} = \frac{k_{сх} I_{с.з.}}{K_I} = \frac{1 \cdot 336}{300/5} = 5,6 \text{ А}.$$

Округляем ток срабатывания реле до 6 А. Выбираем токовое реле РТ-40/10.

Из расчета самозапуска известно:  $t_{с.ф.} = 6,8 \text{ с}$ ;  $t_{с.д.} = 28,8 \text{ с}$ .

Выбираем реле времени ЭВ-245. Установки выдержки времени – 9 с. Защита при перегрузке одновременно является защитой при асинхронном ходе.

### Расчет релейной защиты цеховых трансформаторов

В качестве примера выберем типы защит и определим токи срабатывания защиты и реле цехового трансформатора типа ТМ, основные данные которого следующие:  $S_{т.ном} = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ ;  $U_{1т.ном} / U_{2т.ном} = 6,3 / 0,4 \text{ кВ}$ ;  $u_{\kappa} = 5,5 \%$ ;

группа соединения обмоток треугольник – звезда с нулем;  $I_{1т.ном} = 57,8 \text{ А}$  ;  
 $I_{2т.ном} = 910 \text{ А}$  .

Рассмотрим защиту цехового трансформатора ( $T3, T4, T5, T6$ ) при междуфазных КЗ в обмотках и на выводах высокого напряжения (ВН), при внешних КЗ, при однофазных КЗ и при перегрузке.

Для защиты трансформатора *при междуфазных КЗ* в обмотках и на выводах ВН принимаем ТО без выдержки времени с использованием реле типа РТ-40. Схема соединения ТТ – неполная звезда.

Токи срабатывания защиты (отсечки) и реле определяем по формулам

$$I_{с.з.} = k_{отс} I_{к\max} = 1,4 \cdot 1050 = 1470 \text{ А} ;$$

$$I_{с.р.} = \frac{k_{сх} I_{с.з.}}{K_I} = \frac{1 \cdot 1470}{150/5} = 49 \text{ А} ,$$

где  $I_{к\max}$  – ток, проходящий через ТТ защиты при трехфазном КЗ на стороне низкого напряжения (НН):

$$I_{к\max} = I_{к}^{(3)} = \frac{I_{1т.ном}}{u_{к} \%} \cdot 100 = \frac{57,8 \cdot 100}{5,5} = 1050 \text{ А} ,$$

где  $I_{1т.ном}$  – номинальный первичный ток трансформатора;  $u_{к}$  – напряжение КЗ трансформатора, %;  $I_{к}^{(3)}$  – ток трехфазного КЗ.

Выбираем реле тока РТ-40/100 и промежуточное реле РТ-26.

Для защиты трансформатора *при внешних КЗ* и резервирования ТО т газовой защиты принимаем МТЗ с выдержкой времени.

Схема соединений ТТ – неполная звезда. Максимальную токовую защиту отстраиваем от тока самозапуска полностью заторможенных двигателей, присоединенных к шинам НН. Токи срабатывания защиты и реле находим по формулам

$$I_{с.з.} = \frac{k_{отс} I_{сам}}{k_{в}} = \frac{k_{отс} k_{сам} I_{1т.ном}}{k_{в}} = \frac{1,2 \cdot 3 \cdot 57,8}{0,8} = 260 \text{ А} ;$$

$$I_{с.р.} = \frac{k_{сх} I_{с.з.}}{K_I} = \frac{1 \cdot 260}{150/5} = 8,67 \text{ А} ,$$

где  $k_{сам}$  – коэффициент самозапуска, принимаемый равным 3–3,5, когда нет данных о присоединенных двигателях; в этом случае можно считать, что ток в трансформаторе возрастет в 3–3,5 раза по сравнению с номинальным током.

Принимаем реле тока РТ-40/20.

Коэффициент чувствительности защиты определяем при трехфазном КЗ за трансформатором (т.е. на стороне НН) по формуле

$$k_{ч} = \frac{I_{к}^{(3)}}{I_{с.з.}} = \frac{1050}{260} = 4,04 .$$

Приведенная формула справедлива для МТЗ (в двухфазном трехлинейном исполнении) трансформаторов со схемой соединения обмоток треугольник–звезда с нулем. В этом случае два токовых реле включают на фазные токи, а одно реле – на сумму токов двух фаз; за счет такого включения повышается

чувствительность защиты к двухфазным КЗ на стороне НН цеховых трансформаторов.

Для МТЗ в двухфазном двухлинейном исполнении реактированных линий, трансформаторов со схемой соединения обмоток звезда–звезда с нулем  $k_{\text{ч}}$  – находят по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{0,87I_{\text{к}}^{(3)}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{0,87 \cdot 1050}{260} = 3,5.$$

Выдержку времени МТЗ трансформатора выбирают из условия избирательности на ступень  $\Delta t$  выше наибольшей выдержки времени защит присоединений  $t_{\text{нр}}$ , питающихся от трансформатора, т.е.

$$t_{\text{м}} = t_{\text{нр}} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1,0 \text{ с.}$$

Если МТЗ не удовлетворяет требованию чувствительности, то ее выполняют с пуском от реле минимального напряжения.

Для защиты цехового трансформатора при *однофазных* КЗ в обмотке и на выводах НН, а также в сети НН применяем МТЗ нулевой последовательности с выдержкой времени с использованием реле РТ-40. Защиту выполняют с помощью одного токового реле, включенного на ТТ, установленный в цепи заземления нейтрали цехового трансформатора. В реле протекает полный ток однофазного КЗ.

Токи срабатывания защиты и реле определяем по формулам

$$I_{\text{с.з.}} = k_{\text{омс1}} I_{\text{с.з.1}} = k_{\text{омс1}} I_{\text{ом}} k_{\text{омс2}} = 1,1 \cdot 1800 \cdot 1,2 \approx 2400 \text{ А,}$$

$I_{\text{с.з.1}}$  – ток срабатывания защиты нулевой последовательности на стороне 0,4 кВ, который согласуется, в свою очередь, с током отсечки  $I_{\text{ом}}$  автоматического выключателя;  $I_{\text{омс1}} = 1,1$ ;  $I_{\text{омс2}} = 1,2$ ;

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}}}{K_{\text{I}}} = \frac{2400}{1500/5} = 8 \text{ А.}$$

Принимаем реле тока с запасом по шкале РТ-40/20.

Коэффициент чувствительности защиты нулевой последовательности определяем при однофазном КЗ на выводах НН трансформатора по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{I_{\text{к}}^{(3)}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{16600}{2400} = 6,9,$$

где  $I_{\text{к}}^{(1)}$  – минимальный ток однофазного КЗ на шинах НН; для цеховых трансформаторов с соединением обмоток треугольник–звезда с нулем  $I_{\text{к}}^{(1)} = I_{\text{к}}^{(3)}$ ;

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{I_{2\text{т.ном}} \cdot 100}{u_{\text{к}} \%} = \frac{910 \cdot 100}{5,5} \approx 16600 \text{ А,}$$

где  $I_{2т.ном}$  – номинальный вторичный ток трансформатора.

Выдержку времени защиты нулевой последовательности, установленной в нейтрали цехового трансформатора, отстраивают от времени срабатывания автоматических выключателей двигателей и принимают равной 0,5 с.

Для защиты цехового трансформатора *при перегрузке* принимаем МТЗ, устанавливаемую со стороны ВН трансформатора, выполняемую с помощью одного токового реле, включенного на фазный ток, и действующую на сигнал с выдержкой времени. Максимальную токовую защиту отстраиваем от номинального тока трансформатора.

Токи срабатывания защиты и реле определяем по формулам

$$I_{с.з.} = \frac{k_{отс}}{k_{\epsilon}} I_{1т.ном} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 57,8 = 75,8 \text{ А},$$

$$I_{с.р.} = \frac{k_{сх}}{K_I} I_{с.з.} = \frac{1 \cdot 75,8}{100/5} = 3,79 \text{ А},$$

где  $k_{отс} = 1,05$ ;  $I_{1т.ном}$  – первичный номинальный ток трансформатора.

Выдержку времени МТЗ в этом случае выбирают больше времени защиты трансформатора от КЗ.

## Расчет релейной защиты кабельных линий

В качестве примера выберем типы защит и определим токи срабатывания защиты и реле кабельной линии W3 (см. рис. 1.). Рассмотрим защиту кабельной линии W3 при междуфазных КЗ и при перегрузке.

Для защиты кабельной линии *при междуфазных КЗ* принимаем МТЗ с не зависящей от тока КЗ выдержкой времени. Схема соединения ТТ – неполная звезда.

При определении тока срабатывания МТЗ кабельной линии исходим из реальных условий ее эксплуатации и возможных послеаварийных режимов ее работы. Если они неизвестны, то перед расчетом необходимо ими задаться.

Защиты двух и более последовательно соединенных элементов, например трансформатор – линии – двигатели, согласовывают по чувствительности и времени. Ток срабатывания МТЗ рассматриваемой линии, который мы отстраиваем от тока самозапуска трех асинхронных двигателей, и ток срабатывания реле определяем по следующим формулам:

$$I_{с.з.} = \frac{k_{отс}}{k_{\epsilon}} I_{сам} = \frac{k_{отс} \cdot 3I_{\delta.ном}^a k_{сам}^a k_{U_{\delta}}^a}{k_{\epsilon}} = \frac{1,25 \cdot 3 \cdot 184 \cdot 5,2 \cdot 0,825}{0,8} = 3700 \text{ А},$$

где  $k_{U_{\delta}}^2$  – напряжение на зажимах АД, отн.ед., определяемое при расчете самозапуска этих двигателей;

$$I_{с.р.} = \frac{k_{сх}}{K_I} I_{с.з.} = \frac{1 \cdot 3700}{600/5} = 30,8 \text{ А}.$$

Округляем  $I_{c.p.}$  до 31 А, тогда  $I_{c.з.} = 3840$  А; выбираем реле тока типа РТ-40/50.

Выдержку времени МТЗ принимаем на ступень избирательности больше времени срабатывания ТО асинхронных двигателей, т.е.

$$t_{MTZW3} = t_{omc} + \Delta t = 0,1 + 0,5 = 0,6 \text{ с.}$$

В связи с тем, что для защиты АД от междуфазных КЗ мы применяем ТО с использованием токовых реле РТ-40 и промежуточного реле РП-26, замедляющего время действия ТО и позволяющего благодаря этому отстроиться от апериодической составляющей пускового тока, принимаем  $t_{omc} = 0,1$  с.

Коэффициент чувствительности вычисляем при двухфазном КЗ на шинах, к которым подключены АД, т.е.

$$k_q = \frac{0,867 I_{\kappa}^{(3)}}{I_{c.з.}} = \frac{0,867 \cdot 8180}{3840} = 1,8 > 1,5.$$

Полученный  $k_q$  удовлетворяет требованиям ПУЭ. Если в результате расчета  $k_q$  окажется меньше 1,5, то следует либо уменьшить количество двигателей, самозапускающихся одновременно, если это допустимо по технологии производства, либо дополнить МТЗ пуском от реле минимального напряжения.

Для защиты кабельной линии  $W3$  при перегрузке применяем МТЗ с независимой от тока КЗ выдержкой времени.

Ток срабатывания защиты, который мы отстраиваем от номинального тока линии, и ток срабатывания реле при перегрузке определяем в соответствии с формулами

$$I_{c.з.} = \frac{k_{omc}}{k_{\epsilon}} I_{W3ном} = \frac{1,05 \cdot 600}{0,8} = 787,5 \text{ А};$$

$$I_{c.p.} = \frac{k_{cx} \cdot I_{c.з.}}{K_I} = \frac{1 \cdot 787,5}{600/5} = 6,5 \text{ А}.$$

Округляем  $I_{c.p.}$  до 7 А, тогда  $I_{c.з.} = 840$  А; выбираем реле тока РТ-40/10.

Выдержку времени МТЗ линии при перегрузки принимаем равной 24 с (выдержка времени предыдущей защиты составляет 22 с).

В качестве примера выберем типы защит и определим токи срабатывания защиты и реле кабельной линии  $W2$  (см. рис. 1).

Защиту кабельной линии  $W2$  рассчитываем аналогично предыдущему примеру.

а) Максимальную токовую защиту линии  $W2$  отстраиваем от тока самозапуска трех АД (секционный выключатель  $Q2$  отключен).

Ток срабатывания защиты определяем по формуле

$$I_{c.з} = \frac{k_{отс}(3I_{д.ном}^2 k_{сам}^2 k_{Uд}^2 + I_{д.ном}^2 + 2I_{т.ном})}{k_б} =$$

$$= \frac{1,25(3 \cdot 184 \cdot 5,2 \cdot 0,825 + 224 + 2 \cdot 96)}{0,8} = 4350 A.$$

б) Максимальную токовую защиту линии W2 отстраиваем от тока самозапуска трех АД и одного СД (сработало устройство АВР2).

Ток срабатывания защиты определяем по формуле

$$I_{c.з} = \frac{k_{отс}(3I_{д.ном}^2 + I_{д.ном}^c + 4I_{т.ном} + 3I_{д.ном}^2 k_{сам}^2 k_{Uд}^2 + I_{д.ном}^c k_{сам}^c k_{Uд}^c)}{k_б} =$$

$$= \frac{1,25(3 \cdot 184 + 224 + 4 \cdot 96 + 3 \cdot 184 \cdot 5,2 \cdot 0,825 + 224 \cdot 5,4 \cdot 0,817)}{0,8} = 7056 A,$$

где  $k_{Uд}^c$  - напряжение на зажимах СД, отн. ед., определяемое при расчете самозапуска этого двигателя.

Выбираем наибольший ток срабатывания защиты.

Ток срабатывания реле определяем на основании формулы

$$I_{c.р} = \frac{k_{сх}}{K_I} I_{c.з} = \frac{1 \cdot 7056}{1500/5} = 23,5 A.$$

Округляем  $I_{c.р}$  до 24А, тогда  $I_{c.з} = 7200 A$ ; выбираем реле тока РТ-40/50.

Выдержку времени МТЗ принимаем на ступень избирательности больше времени срабатывания МТЗ линии W3, т.е.

$$t_{MTZW2} = t_{MTZW3} + \Delta t = 0,6 + 0,5 = 1,1 с.$$

Коэффициент чувствительности вычисляем при двухфазном КЗ на шинах, к которым подключена линия W3, СД и два трансформатора T3 и T4:

$$k_{ч} = \frac{0,867 I_{к}^{(3)}}{I_{c.з}} = \frac{0,867 \cdot 8610}{7200} = 1,04(1,5).$$

Для повышения чувствительности МТЗ дополняем ее пуском от реле минимального напряжения. Ток срабатывания защиты в этом случае отстраиваем от длительной рабочей нагрузки без учета увеличения этого тока при самозапуске двигателей:

$$I_{c.з} = \frac{k_{отс}(6I_{д.ном}^2 + 4I_{т.ном} + 2I_{д.ном}^2)}{k_б} = \frac{1,25(6 \cdot 184 + 4 \cdot 96 + 2 \cdot 224)}{0,8} = 3025 A.$$

Выбираем реле тока РТ-40/20.

Напряжение срабатывания защиты и реле определяем по следующим формулам:

$$U_{c.з} = \frac{U_{\min}}{k_{отс}k_{в}} = \frac{0,85U_{ном}}{k_{отс}k_{в}} = \frac{0,85 \cdot 6000}{1,2 \cdot 1,25} = 3400B;$$

$$U_{c.р} = \frac{U_{c.з}}{K_U} = \frac{3400}{6000/100} = 57B,$$

где  $U_{\min}$  - минимальное остаточное напряжение при самозапуске нагрузки.

Принимаем реле напряжения РН-54/160 с пределами срабатывания 40 – 160В.

$$k = \frac{U_{c.з}}{U_{\max}} = \frac{3400}{111} = 3,1)1,5.$$

где  $U_{\max}$  - максимальное остаточное напряжение при КЗ в конце защищаемой зоны;

$$U_{\max} = I_{K2}X_{W2} = 8610 \cdot 0,013 = 112B,$$

где  $I_{K2}$  - ток КЗ в конце линии W2, т.е. в точке K2;  $X_{W2}$  - индуктивное сопротивление линии W2.

Рассмотренную МТЗ кабельной линии W2 согласуем по чувствительности с МТЗ кабельной линии W3.

В соответствии с принципом согласования защит по чувствительности защита, расположенная ближе к источнику питания ИП (последующая), должна быть менее чувствительной, чем защита, расположенная дальше от ИП (предыдущая). Учитывая, что в распределительных сетях 6 и 10 кВ соотношения индуктивного и активного сопротивления линий таковы, что углы между  $U$  и  $I$  при КЗ близки углам между  $U$  и  $I$  в нормальном режиме работы, при расчетах МТЗ допустимо складывать алгебраические токи КЗ и тока нагрузки. Формула условия согласования защит по чувствительности имеет вид

$$I_{c.з.посл} \geq \frac{k_{н.с}}{k_p} \left[ (nI_{c.з.пред})_{\max} + \sum_1^{N-n} I_{\max(N-n)} \right],$$

где  $k_{н.с}$  - коэффициент надежности согласования, который зависит от точности работы реле и ТТ, точности настройки реле и т.д. (табл. 5);  $k_p$  - коэффициент токораспределения, учитывается при нескольких ИП, при одном ИП  $k_p = 1$ ;

$(nI_{c.з.пред})_{\max}$  - наибольшее из произведений числа  $n$  параллельно работающих элементов (предыдущих) и тока срабатывания их защит;

$\sum_1^{N-n} I_{\text{раб max}(N-n)}$  - геометрическая сумма максимальных рабочих токов всех

предыдущих элементов подстанции за исключением тех, с защитами которых производится согласование; при однородной нагрузке допустимо арифметическое сложение токов нагрузки.



**Значения коэффициента  $k_{н.с}$  для МТЗ линии**

Таблица 6.

Тип реле	$k_{н.с}$ при напряжении линий, кВ	
	110 кВ и выше	6, 10, 20, 35
РТ-40	1,1 – 1,2	1,25
РТ-90, РТ-80	-	1,3 – 1,4
РТВ	-	1,5

На основании приведенного выше условия имеем

$$I_{с.з} = k_{н.с} I_{с.з} = 1,25 \cdot 3025 \approx 3781A;$$

$$I_{с.з} = \frac{k_{сх}}{K_I} I_{с.з} = \frac{1 \cdot 3781}{1500/5} = 12,6A.$$

Округляем  $I_{с.з}$  до 13А, тогда  $I_{с.з} = 3900A$ ; выбираем реле тока РТ-40/20.

**Расчет релейной защиты силовых трансформаторов с выключателями на стороне НН**

В общем случае эти трансформаторы защищают от тех же повреждений и ненормальных режимов, что и цеховые трансформаторы, однако защита имеет некоторые особенности.

В качестве примера выберем типы защит и определим токи срабатывания защит и реле трансформаторов и реле трансформатора типа ТДН, основные данные которого определяются по справочникам, например:  $S_{т.ном} = 16000кВ \cdot A$ ;  $U_{1т.ном} / U_{2т.ном} = 115 / 6,3кВ$ ;  $u_k \% = 10,5\%$ ; группа соединения обмоток  $Y_0 / \Delta - 11$ .

Рассмотрим защиту трансформатора от междуфазных и внешних КЗ.

Для защиты трансформатора от междуфазных КЗ в обмотках и на их выводах используем дифференциальную защиту, выполненную на дифференциальном реле типа РНТ-565.

Определим первичные номинальные токи трансформатора на стороне ВН и НН:

$$I_{1т.ном} = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3}U_{1т.ном}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 115} \approx 80A;$$

$$I_{2т.ном} = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3}U_{2т.ном}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} \approx 1468A.$$

Коэффициент трансформации трансформаторов тока со стороны ВН и НН выбираем равными  $K_{I_{\text{ВВ}}} = 100/5$  и  $K_{I_{\text{НН}}} = 1500/5$ . Трансформаторы тока со стороны ВН соединены в треугольник, а со стороны НН – в звезду.

Находим вторичные токи в плечах защиты на стороне ВН и НН:

$$I_{\text{в}\Delta} = \frac{\sqrt{3}I_{1\text{т.ном}}}{K_{I_{\text{ВВ}}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 80}{100/5} \approx 6,9 \text{ A};$$

$$I_{\text{нY}} = \frac{\sqrt{3}I_{2\text{т.ном}}}{K_{I_{\text{НН}}}} = \frac{1468}{1500/5} \approx 4,8 \text{ A};$$

Определим ток небаланса по формуле

$$I_{\text{нб.расч}} = I'_{\text{нб}} + I''_{\text{нб}} + I'''_{\text{нб}},$$

где  $I'_{\text{нб}}$  - составляющая тока небаланса, обусловленная погрешностью трансформатора тока;  $I''_{\text{нб}}$  - составляющая тока небаланса, вызванная регулированием напряжения на трансформаторе;  $I'''_{\text{нб}}$  - составляющая тока небаланса, вызванная неточностью установки на реле расчетного числа витков для одной из сторон трансформатора.

Поскольку значение  $I'''_{\text{нб}}$  в начале расчета неизвестно, ток небаланса определим по двум первым составляющим, т.е.

$$I_{\text{нб.расч}} = I'_{\text{нб}} + I''_{\text{нб}} = 870 + 870 = 1740 \text{ A};$$

$$I'_{\text{нб}} = k_{\text{анер}} k_{\text{одн}} \xi I_{\text{к1}} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 8700 = 870 \text{ A};$$

$$I''_{\text{нб}} = \Delta U I_{\text{к1}} = 0,1 \cdot 8700 = 870 \text{ A},$$

где  $k_{\text{анер}}$  - коэффициент, учитывающий увеличение тока КЗ из-за наличия в нем апериодической составляющей;  $k_{\text{анер}}=1$  для реле РНТ-565, поскольку они содержат насыщающийся ТТ;  $k_{\text{одн}}$  - коэффициент однотипности ТТ ( $k_{\text{одн}}=0,5$  при одинаковых типах и  $k_{\text{одн}}=1$  – при разных типах ТТ);  $\xi=0,1$  – допустимая погрешность ТТ для защиты;  $I_{\text{к1}}$  - максимальный ток трехфазного КЗ на шинах 6 кВ;  $\Delta U$  - половина суммарного диапазона регулирования напряжения на трансформаторе (при диапазоне регулирования  $\pm 10\%$   $\Delta U=0,1$ ).

Определяем ток срабатывания защиты по следующим условиям:

а) отстройка от тока небаланса

$$I_{\text{с.з}} \geq k_{\text{отс}} I_{\text{нб.расч}} = 1,3 \cdot 1740 = 2262 \text{ A};$$

б) отстройка от бросков тока намагничивания, который имеет место при включении ненагруженного трансформатора под напряжение и при восстановлении напряжения после отключения внешнего КЗ

$$I_{c.3} \geq kI_{2m.ном} = 1,15 \cdot 1468 = 1688 A.$$

Принимаем наибольшее значение  $I_{c.3}$  из этих условий, т.е.  $I_{c.3} = 2262 A$ .

Находим ток срабатывания реле на основной стороне 115 кВ с наибольшим вторичным током в плече защиты, исходя из тока срабатывания защиты, пересчитанного на сторону 115 кВ:

$$I_{c.p} = \frac{I_{c.3} k_{сх} U_{2m.ном}}{k_{Iвв} U_{1m.ном}} = \frac{2262 \cdot \sqrt{3} \cdot 6,3}{100/5 \cdot 115} = 10,7 A.$$

Определяем расчетное число витков обмотки реле для стороны 115 кВ

$$W_{осн.расч} = \frac{F_{c.p}}{I_{c.p}} = \frac{100}{10,7} = 9,35,$$

где  $F_{c.p}$  - МДС срабатывания реле РНТ-565.

Определяем число витков обмотки реле для неосновной стороны трансформатора, исходя из равенства МДС в реле при номинальных вторичных токах:

$$W_{неосн.расч} = W_{осн.расч} \frac{I_{н\Delta}}{I_{нY}} = 9,35 \cdot \frac{6,9}{4,8} = 13,4;$$

$$W_{неосн} = 13.$$

В случае несовпадения расчетного числа витков  $W_{неосн.расч}$  с принятым находят составляющую тока небаланса  $I''_{н\delta}$ , после чего определяют  $I_{c.3}$  с учетом  $I''_{н\delta}$ :

$$I''_{н\delta} = \left| \frac{W_{неосн.расч} - W_{неосн}}{W_{неосн.расч}} I_{к1} \right|.$$

Если найденное значение  $I_{c.3}$  с учетом  $I''_{н\delta}$  больше  $I_{c.3}$  без учета  $I''_{н\delta}$ , то расчет по определению числа витков обмоток реле повторяют заново (до тех пор, пока последующее значение  $I_{c.3}$  будет меньше предыдущего  $I_{c.3}$ ).

Определим коэффициент чувствительности защиты при двухфазном КЗ на выводах 6 кВ трансформатора по выражению

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к min}}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{0,87I_{\text{к1}}^{(3)}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{0,87 \cdot 8700}{2262} = 3,3 > 2.$$

Защита обладает достаточной чувствительностью.

Проверяем ТТ, установленные со стороны 110 кВ, на 10%-ную погрешность. Сопротивление вторичной нагрузки ТТ при трехфазном КЗ

$$Z_{\text{н}} = 3(R_{\text{np}} + Z_{\text{p}}) + R_{\text{пер}} = 3(0,24 + 0,985) + 0,1 = 3,775 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{np}} = \frac{l}{\gamma s} = \frac{50}{34,5 \cdot 6} = 0,24 \text{ Ом};$$

$$Z_{\text{p}} = \frac{S_{\text{p}}}{I_{\text{с.п}}^2} = \frac{75}{(8,75)^2} = 0,98 \text{ Ом}.$$

**Кратность тока находим по выражению**

$$k_{10} = \frac{I_{\text{расч}}}{0,8I_{\text{ном}}} = \frac{1,25I_{\text{max}}}{0,8I_{\text{ном}}} = \frac{1,25I_{\text{к1}} \frac{U_{2\text{т.ном}}}{U_{1\text{т.ном}}}}{0,8I_{1\text{т.ном}}} = \frac{1,25 \cdot 8700 \cdot \frac{6,3}{115}}{0,8 \cdot 80} = \frac{595}{64} = 9,3.$$

По кривым 10%-ной погрешности для трансформатора тока ТВТ-110 находим, что  $Z_{\text{н.дон}} = 15 \text{ Ом}$ ; т.е.  $Z_{\text{н.дон}} > Z_{\text{н}}$ .

Для защиты трансформатора *при внешних КЗ* применяем МТЗ. Кроме того, эта защита резервирует основные защиты трансформатора. Так как трансформатор имеет схему соединения  $Y_0/\Delta=11$  и подключен к шинам 110 кВ, МТЗ выполняем трехфазной трехрелейной для действия при всех видах КЗ. Трансформаторы тока защиты соединяем в треугольник (как в схеме дифференциальной защиты трансформатора) для предотвращения ее неправильного действия при внешних однофазных или двухфазных КЗ на землю в сети 110 кВ, поскольку указанные трансформаторы работают с заземленной нейтралью.

Определим токи срабатывания защиты и реле МТЗ:

$$I_{\text{с.з}} = \frac{k_{\text{отс}} k_{\text{сам}}}{k_{\text{е}}} I_{\text{раб max}} = \frac{1,2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 80}{0,8} = 240 \text{ А},$$

где  $I_{\text{раб max}} = 2I_{1\text{т.ном}}$  - максимальный рабочий ток, равный суммарному номинальному току двух трансформаторов (один из трансформаторов отключается при КЗ в трансформаторе или на его выводах и срабатывает устройство АВР);

$$I_{c.3} = \frac{k_{cx} I_{c.3}}{K_I} = \frac{\sqrt{3} \cdot 240}{100/5} = 20,8A.$$

Округляем  $I_{c.p}$  до  $21A$ , тогда  $I_{c.3} = 242A$ ; выбираем реле тока РТ-40/50.

Находим коэффициент чувствительности защиты при двухфазном КЗ на шинах 6 кВ.

$$K_{\chi} = \frac{I_{\kappa}^{(2)}}{I_{c.3}} = \frac{0,867 \cdot 8700}{240 \cdot \frac{115}{6,3}} = 1,7 > 1,5$$

Выдержку времени МТЗ трансформатора выбираем на ступень избирательности больше, чем выдержка времени МТЗ кабельной линии  $W_2$ , т.е.

$$t_{MT3T1} = t_{MT3W2} + \Delta t = 1,1 + 0,5 = 1,6 \text{ с.}$$

Выбираем реле времени ЭВ-133, имеющие диапазон уставок 0,5-9,0 с.

На рис. 3 показана карта избирательности, построенная на основании расчетов релейной защиты элементов системы электроснабжения, приведенной на рис. 1. Для построения карты избирательности действия защиты АД и СД, цеховых трансформаторов Т3, Т4, Т5, Т6 и кабельных линий  $W_2$ ,  $W_3$  воспользуемся следующими расчетными данными:

1) для защиты АД и СД от междуфазных КЗ мы применили ТО и рассчитали соответственно токи срабатывания защит:

$$I_{c.3} = 1345A \text{ (кривая 1); } I_{c.3} = 1694A \text{ (кривая 2);}$$

2) для защиты Т3 - Т6 от междуфазных КЗ мы использовали ТО и рассчитали ток срабатывания защиты  $I_{c.3} = 1470A$  (кривая 3); для защиты Т3 – Т6 от внешних КЗ и защиты от однофазных КЗ в обмотке и на выводах НН применили соответственно простую МТЗ с выдержкой времени 1 с  $I_{c.3} = 260A$  (кривая 3') и МТЗ нулевой последовательности с выдержкой времени 0,5 с  $I_{c.3} = 260A$  (кривая 3'');

3) для защиты  $W_3$  и  $W_2$  от междуфазных КЗ мы применили МТЗ и рассчитали соответственно  $I_{c.3} = 3700A$  (кривая 4, выдержка времени 0,6 с) и  $I_{c.3} = 7200A$  (кривая 5, выдержка времени 1,1 с);

4) для защиты Т1 и Т2 от внешних КЗ использовали МТЗ ( $I_{c.3} = 240A$ ) с выдержкой времени 1,6 с (кривая 6); для защиты Т1 и Т2 от междуфазных КЗ использовали дифференциальную защиту  $I_{c.3} = 2262A$  (кривая 6').

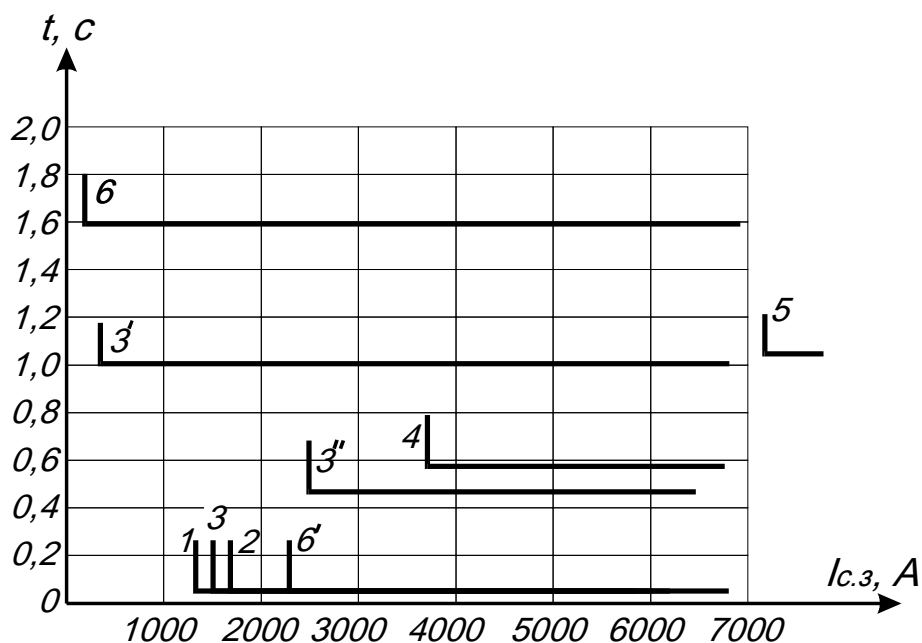


Рис. 4. Карта избирательности

### Приложение 3. Фонд тестовых заданий

#### 1. Задание

Отметьте правильный ответ

Положение контакта В2 (схема г) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема а):

- замкнут;  
 разомкнут.

#### 2. Задание

Отметьте правильный ответ

Положение контакта ТДТ<sub>С</sub> (схема г) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема а):

- замкнут;  
 разомкнут.

#### 3. Задание

Отметьте правильный ответ

Положение контакта 2РТ (схема д) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема. а):

- замкнут;  
 разомкнут.

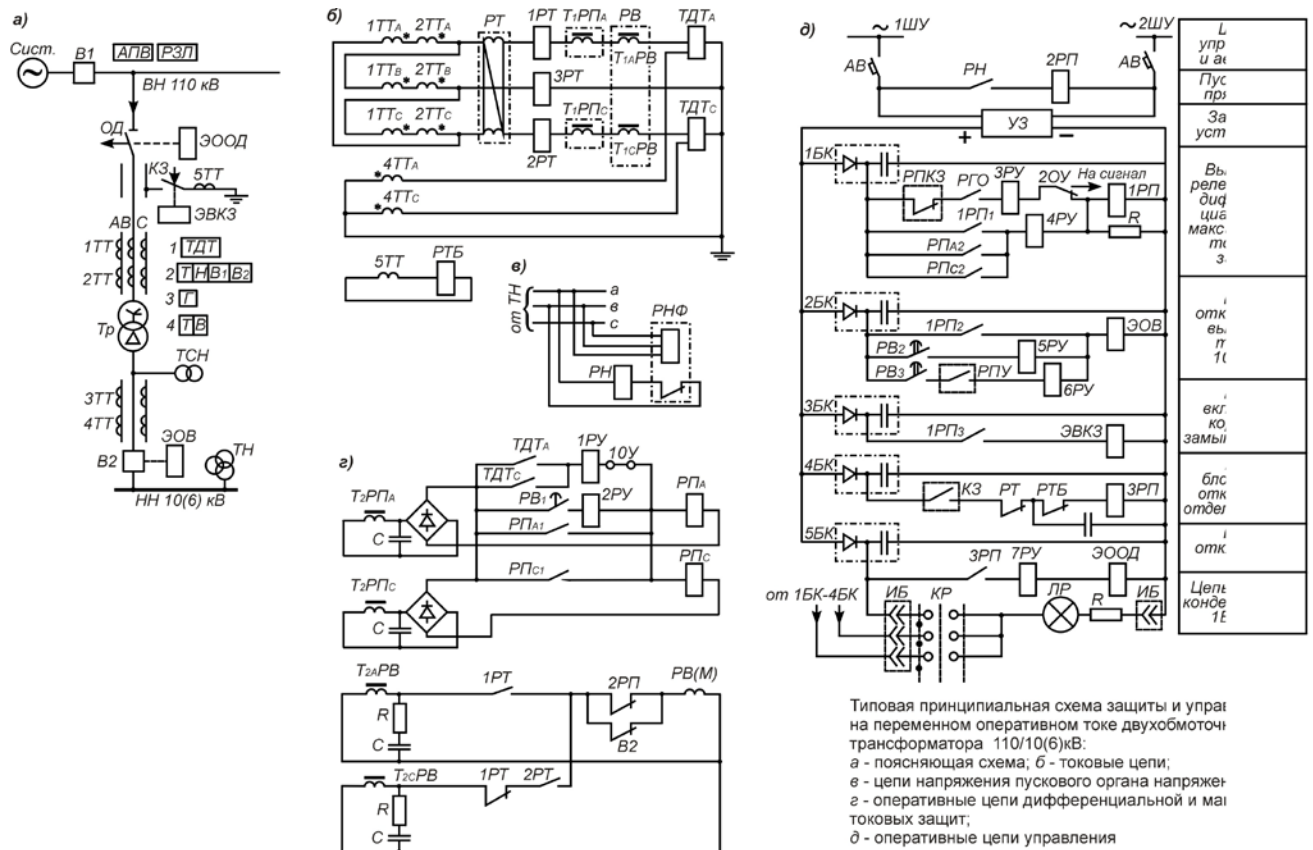


Рис. 2. Схема защиты трансформатора.

**4. Задание**

Отметьте правильный ответ

Положение контакта РНФ (схема в) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема. а):

- замкнут;
- разомкнут.

**5. Задание**

Отметьте правильный ответ

Какой коммутационный аппарат сработает первым при запуске АПВ?:

- вкл. КЗ;       откл. КЗ;
- вкл. ОД;       откл. ОД;
- вкл. В1;       откл. В1;
- вкл. В2;       откл. В2.

**6. Задание**

Отметьте правильный ответ

Реле РНФ (схема в) защищает от:

- симметричного КЗ;
- несимметричного КЗ.

**7. Задание**

Отметьте правильный ответ

При  $U_a=0$  (схема в) положение контакта РН:

- замкнут;
- разомкнут.

**8. Задание**

Отметьте правильный ответ

При замыкании контакта ЗРП какой из коммутационных аппаратов сработает первым:

- откл. КЗ;     вкл. КЗ;
- откл. ОД;     вкл. ОД;
- откл. В1;     вкл. В1;
- откл. В2;     вкл. В2.

### 9. Задание

Отметьте правильный ответ

Какой коммутационный аппарат сработает первым при запуске АПВ (схема а):

- вкл. КЗ;         откл. КЗ;
- вкл. ОД;         откл. ОД;
- вкл. В1;         откл. В1;
- вкл. В2;         откл. В2.

### 10. Задание

Отметьте правильный ответ

Реле ЗРТ (схема б) относится к:

- ТДТ-дифференциальной защите;
- ТНВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub> максимальной токовой защите с пуском по напряжению;
- Г- газовой защите;
- ТВ- МТЗ от перегрузки.

### 11. Задание

Отметьте правильный ответ

С каким коммутационным аппаратом в паре работает отделитель:

- выключатель
- разъединитель
- короткозамыкатель
- удлинитель

### 12. Задание

Отметьте правильный ответ

В какой последовательности происходит отключение поврежденного трансформатора.

- отключение В<sub>НН</sub>; отключение В<sub>ВН</sub>
- отключение В<sub>ВН</sub>; отключение В<sub>НН</sub>
- отключение В<sub>НН</sub>; включение В<sub>ВН</sub>
- отключение В<sub>ВН</sub>; включение В<sub>НН</sub>

### 13. Задание

Отметьте правильный ответ

Назначение указательных реле в схемах защиты

- измерение тока
- измерения напряжения
- отключение поврежденного участка
- информирование о сработавшей защите
- питание элементов схемы защиты

### 14. Задание

Отметьте правильный ответ

Реле времени применяют для:

- газовой защиты
- максимальной токовой защиты
- дифференциальной защиты

### 15. Задание



Отметьте правильный ответ

Назначение короткозамыкателя:

- создание видимого разрыва
- отключение токов КЗ
- создание искусственного КЗ
- отключение цепей оперативного управления

### **16. Задание**

Отметьте правильный ответ

Как рисуются контакты на схемах:

- в положении замкнуть
- в положении разомкнуть
- в положении на складе
- в положении сработало
- в положении отключено

### **17. Задание**

Отметьте правильный ответ

Дифференциальная защита трансформатора сравнивает в плечах:

- токи
- напряжения
- мощности
- сопротивления

### **18. Задание**

Отметьте правильный ответ

Чем сопровождается КЗ:

- повышение тока и снижением напряжения
- повышение тока и повышением напряжения
- снижением тока и повышением напряжения
- снижением тока и снижением напряжения
- уравниванием тока и напряжения

### **19. Задание**

Отметьте правильный ответ

Реле максимального действия срабатывают при:

- увеличении измерительного параметра
- уменьшении измерительного параметра
- отсутствии измерительного параметра

### **20. Задание**

Отметьте правильный ответ

Реле минимального напряжения срабатывает при:

- увеличении напряжения
- уменьшении напряжения
- отсутствии напряжения

### **21. Задание**

Отметьте правильный ответ

Какие виды защиты представлены на схеме:

- ТДТ- максимальная токовая защита с пуском по напряжению
- ТНВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub>- газовая защита
- Г- МТЗ от перегрузки
- Тв- дифференциальная защита

### **22. Задание**

Отметьте правильный ответ

Трансформатор напряжения выдает потребителям

- постоянное напряжение
- постоянный ток
- выпрямленный ток
- переменное напряжение

**23. Задание**

Отметьте правильный ответ

Короткозамкатель в нормальном режиме работы силового трансформатора

- замкнут
- разомкнут

**24. Задание**

Отметьте правильный ответ

Отделитель в нормальном режиме работы силового трансформатора

- замкнут
- разомкнут

**25. Задание**

Отметьте правильный ответ

Схема соединения измерительных трансформаторов тока 1 ТТ и 2 ТТ

- треугольник
- звезда
- разомкнутый треугольник
- зигзаг

**26. Задание**

Отметьте правильный ответ

Положение контакта РН (схема д) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема а) Тр:

- замкнут;
- разомкнут.

**27. Задание**

Отметьте правильный ответ

Положение контакта 2РП (схема г) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема а) Тр:

- замкнут;
- разомкнут.

**28. Задание**

Отметьте правильный ответ

Положение контакта РГО (схема д) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема. а) Тр:

- замкнут;
- разомкнут.

**29. Задание**

Отметьте правильный ответ

Положение контакта ТДТА (схема г) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема. а) Тр:

- замкнут;
- разомкнут.

**30. Задание**

Отметьте правильный ответ

Положение контакта РВ<sub>1</sub> (схема г) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема. а) Тр:

- замкнут;
- разомкнут.

**31. Задание**

Отметьте правильный ответ

Положение контакта В2 (схема г) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема. а) Тр:

- замкнут;
- разомкнут.

**32. Задание**

Отметьте правильные ответы

УЗ запитывает (схема д):

- 1БК;  ЛР;
- 2БК;  R;
- 3БК;  РП2.
- 4БК;
- 5БК;

**33. Задание**

Отметьте правильный ответ

При замыкании контакта 1РП<sub>3</sub> (схема д) какой из коммутационных аппаратов сработает первым:

- вкл. КЗ;  откл. КЗ;
- вкл. ОД;  откл. ОД;
- вкл. В1;  откл. В1;
- вкл. В2;  откл. В2;

**34. Задание**

Отметьте правильный ответ

Какой коммутационный аппарат сработает первым при запуске РЗЛ (схема а):

- вкл. КЗ;  откл. КЗ;
- вкл. ОД;  откл. ОД;
- вкл. В1;  откл. В1;
- вкл. В2;  откл. В2.

**35. Задание**

Отметьте правильный ответ

Реле 1РТ (схема б) относится к:

- ТДТ-дифференциальной защите;
- ТНВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub> максимальной токовой защите с пуском по напряжению;
- Г- газовой защите;
- ТВ- МТЗ от перегрузки.

**36. Задание**

Отметьте правильный ответ

Положение контакта КЗ (схема д) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема а):

- замкнут;
- разомкнут.

**37. Задание**

Отметьте правильный ответ

Положение контакта РТ (схема д) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема а):

- замкнут;
- разомкнут.

### **38. Задание**

Отметьте правильный ответ

Положение контакта РТБ (схема д) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема. а):

- замкнут;
- разомкнут.

### **39. Задание**

Отметьте правильный ответ

Положение контакта ЗРП (схема д) в нормальном режиме работы силового трансформатора (схема. а):

- замкнут;
- разомкнут.

### **40. Задание**

Отметьте правильный ответ

Положение контакта РНФ при однофазном КЗ (схема в):

- замкнут;
- разомкнут.

### **41. Задание**

Отметьте правильный ответ

Положение контакта РНФ при трехфазном КЗ (схема в):

- замкнут;
- разомкнут.

### **42. Задание**

Отметьте правильный ответ

При  $U_c = 0$  (схема в) положение контакта РН:

- замкнут;
- разомкнут.

### **43. Задание**

Отметьте правильный ответ

При замыкании контакта  $1РП_2$  (схема д) какой из коммутационных аппаратов сработает первым:

- откл. КЗ;     вкл. КЗ;
- откл. ОД;     вкл. ОД;
- откл. В1;     вкл. В1;
- откл. В2;     вкл. В2;

### **44. Задание**

Отметьте правильный ответ

При  $U_B = 0$  (схема в) положение контакта РН:

- замкнут;
- разомкнут.

### **45. Задание**

Отметьте правильный ответ

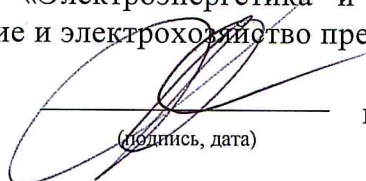
Реле РН РНФ(схема в) относится к:

- ТДТ-дифференциальной защите;
- ТНВ<sub>1</sub>В<sub>2</sub> максимальной токовой защите с пуском по напряжению;
- Г- газовой защите;
- ТВ- МТЗ от перегрузки.

Разработанные контролирующие материалы позволяют оценить степень усвоения теоретических и практических знаний, приобретенные умения и владение опытом на репродуктивном уровне, когнитивные умения на продуктивном уровне, и способствуют формированию профессиональных и общекультурных компетенций студентов, что является очень важным в деле подготовки высококвалифицированных бакалавров по направлению «Электроэнергетика и электротехника» профиля подготовки «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений».

Фонд оценочных средств по дисциплине разработан в соответствии с требованиями ФГОС ВПО, с учетом рекомендаций ПрООП ВПО по направлению подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» и профиля подготовки Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений.

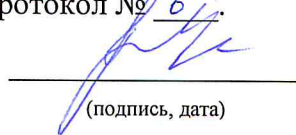
Авторы:

  
(подпись, дата)

к.т.н., Мухамадуллин И.М.

Фонд оценочных средств обсужден и одобрен на заседании кафедры «ЭХП» от 3.06. 2011 г., протокол № 6/1.

Зав. кафедрой  
«ЭХП»

  
(подпись, дата)

Доц., к.т.н. Роженцова Н.В.

На заседании методического совета факультета ФЭМ от 26.06. 2011 г., протокол № 3 фонд оценочных средств рекомендован к утверждению.

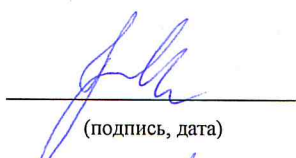
Декан ФЭМ

  
(подпись, дата)

к.т.н., профф. Сидоренко С.Р.

Согласовано:

Зав. кафедрой  
«ЭХП»

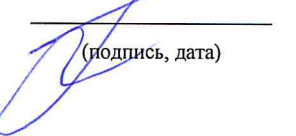
  
(подпись, дата)

к.т.н., доцент Роженцова Н.В.

Эксперты

  
(подпись, дата)

Галова А.Н.

  
(подпись, дата)

Ген. директор ООО «НПД, Энергия»  
к.т.н. Кузнецов А.В.