

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра управления в технических системах**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И. Луковникова

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА**

**Б1.В.ДВ.08.02**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**27.03.04 Управление в технических системах**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Управление и информатика в технических системах**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

<b>СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ</b>		<b>Стр.</b>
<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>		<b>3</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>		<b>3</b>
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ</b>		<b>4</b>
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....		4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....		4
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>		<b>5</b>
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....		5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....		8
4.3 Лабораторные работы.....		47
4.4 Практические занятия.....		47
4.5 Контрольные мероприятия: контрольная работа		47
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>		<b>49</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>		<b>50</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>		<b>50</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>		<b>50</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>		<b>51</b>
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ		51
9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы .....		59
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>		<b>59</b>
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>		<b>59</b>
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>		<b>60</b>
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>		<b>65</b>
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>		<b>66</b>
<b>Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....</b>		<b>67</b>

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к проектно-конструкторскому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование знаний о принципах организации и технической реализации релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем.

## Задачи дисциплины

Формирование умений выполнять расчеты параметров различных защит, синтезировать схемы, в том числе и на микропроцессорной основе; приобретение навыков работы с элементами и схемами защит, их настройки и экспериментальных исследований.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-3	способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей	<b>Знать:</b> - принципы устройства и работы релейной защиты; технические средства и модели; <b>Уметь:</b> - применять технические средства и специальное оборудование в электроэнергетических системах; <b>Владеть:</b> - системами программирования управления техническими средствами.
ПК-6	способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием	<b>Знать:</b> - принципы настройки релейных защит различного типа; <b>Уметь:</b> - работать с элементами и схемами релейной защиты и автоматики; <b>Владеть:</b> - навыками работы с реальными техническими средствами релейной защиты и автоматики; методами управления и настройки устройств релейной защиты и автоматики.

# 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.08.02 Релейная защита и автоматика относится к элективной части.

Дисциплина Релейная защита и автоматика базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин: Электротехника и электроника и Электроэнергетические системы и сети.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, дисциплина Релейная защита и автоматика представляет основу для изучения дисциплины Многомерные и многосвязные системы управления. Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах					Контрольная работа	Вид промежуточной аттестации	
			Всего часов	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия			Самостоятельная работа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	4	7	108	51	17	-	34	57	кр	зачет
Заочная	5	-	108	16	6	-	10	88	кр	зачет
Заочная (ускоренное обучение)	3	-	108	14	6	-	8	90	кр	зачет
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			7
1	2	3	4
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	51	13	51
Лекции (Лк)	17	8	17
Практические занятия (ПЗ)	34	5	34
Контрольная работа (кр)	+	-	+
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	57	-	57
Подготовка к практическим занятиям	19	-	19
Подготовка к зачету	19	-	19
Выполнение контрольной работы	19	-	19
<b>III. Промежуточная аттестация зачет</b>	+	-	+
Общая трудоемкость дисциплины час.	108	-	108
зач. ед.	3	-	3

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся
			лекции	Практические занятия	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Элементы релейной защиты и автоматики. Защиты линий и сетей</b>	<b>39</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>24</b>
1.1	Общее понятие релейной защиты	3	1	-	2
1.2	Электромеханические реле	4	1	-	3
1.3	Реле с использованием полупроводников	4	1	-	3
1.4	Токовые защиты	4	1	-	3
1.5	Дифференциальная защита ЛЭП	4	1	-	3
1.6	Дистанционные защиты ЛЭП	16	1	8	7
1.7	Высокочастотные защиты ЛЭП	4	1	-	3
<b>2.</b>	<b>Защиты машин и аппаратов</b>	<b>36</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>12</b>
2.1	Защита силовых трансформаторов	4	1	-	3
2.2	Защиты электродвигателей	12	1	8	3
2.3	Защиты синхронных генераторов	12	1	8	3
2.4	Защита и автоматика специальных электроустановок	8	1	4	3
<b>3.</b>	<b>Автоматика в системах электроснабжения</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>12</b>
3.1	Автоматика повторного включения	3,5	0,5	-	3
3.2	Автоматика включения резерва	3,5	0,5	-	3
3.3	Автоматическая частотная разгрузка	3,5	0,5	-	3
3.4	Автоматика регулирования напряжения	3,5	0,5	-	3
<b>4.</b>	<b>Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем</b>	<b>19</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>9</b>
4.1	Основные элементы системы автоматического управления	10	1	6	3
4.2	Классификация систем автоматического управления	4	1	-	3
4.3	Классификация автоматики электроэнергетических систем	5	2	-	3
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>57</b>

- для заочной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся
			лекции	Практические занятия	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Элементы релейной защиты и автоматики. Защиты линий и сетей</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>22</b>
1.1	Общее понятие релейной защиты	1,5	0,5	-	1
1.2	Электромеханические реле	3,5	0,5	-	3
1.3	Реле с использованием полупроводников	3	-	-	3
1.4	Токовые защиты	3	-	-	3
1.5	Дифференциальная защита ЛЭП	4	-	-	4
1.6	Дистанционные защиты ЛЭП	9	1	4	4
1.7	Высокочастотные защиты ЛЭП	4	-	-	4
<b>2.</b>	<b>Защиты машин и аппаратов</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>22</b>
2.1	Защита силовых трансформаторов	6	1	-	5
2.2	Защиты электродвигателей	8	1	2	5
2.3	Защиты синхронных генераторов	8	-	2	6
2.4	Защита и автоматика специальных электроустановок	6	-	-	6
<b>3.</b>	<b>Автоматика в системах электроснабжения</b>	<b>23</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>22</b>
3.1	Автоматика повторного включения	5,5	0,5	-	5
3.2	Автоматика включения резерва	5	-	-	5
3.3	Автоматическая частотная разгрузка	6	-	-	6
3.4	Автоматика регулирования напряжения	6,5	0,5	-	6
<b>4.</b>	<b>Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>22</b>
4.1	Основные элементы системы автоматического управления	8	-	2	6
4.2	Классификация систем автоматического управления	8	-	-	8
4.3	Классификация автоматики электроэнергетических систем	9	1	-	8
	<b>ИТОГО</b>	<b>104</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>88</b>

- для заочной формы (ускоренное обучение) обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся
			лекции	Практические занятия	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Элементы релейной защиты и автоматики. Защиты линий и сетей</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>23</b>
1.1	Общее понятие релейной защиты	1,5	0,5	-	1
1.2	Электромеханические реле	3,5	0,5	-	3
1.3	Реле с использованием полупроводников	3	-	-	3
1.4	Токовые защиты	3	-	-	3
1.5	Дифференциальная защита ЛЭП	4	-	-	4
1.6	Дистанционные защиты ЛЭП	9	1	3	5
1.7	Высокочастотные защиты ЛЭП	4	-	-	4
<b>2.</b>	<b>Защиты машин и аппаратов</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>22</b>
2.1	Защита силовых трансформаторов	6	1	-	5
2.2	Защиты электродвигателей	8	1	2	5
2.3	Защиты синхронных генераторов	8	-	2	6
2.4	Защита и автоматика специальных электроустановок	6	-	-	6
<b>3.</b>	<b>Автоматика в системах электроснабжения</b>	<b>23</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>22</b>
3.1	Автоматика повторного включения	5,5	0,5	-	5
3.2	Автоматика включения резерва	5	-	-	5
3.3	Автоматическая частотная разгрузка	6	-	-	6
3.4	Автоматика регулирования напряжения	6,5	0,5	-	6
<b>4.</b>	<b>Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>23</b>
4.1	Основные элементы системы автоматического управления	8	-	1	7
4.2	Классификация систем автоматического управления	8	-	-	8
4.3	Классификация автоматики электроэнергетических систем	9	1	-	8
	<b>ИТОГО</b>	<b>104</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>90</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

Вид занятий в интерактивной форме: лекции с текущим контролем, компьютерные презентации (8 часов).

### Раздел 1. Элементы релейной защиты и автоматики. Защита линий и сетей

#### Тема 1.1. Общее понятие о релейной защите

В энергетических системах могут возникать повреждения и ненормальные режимы работы электрооборудования электростанций и подстанций, их распределительных устройств, линий электропередачи и электроустановок потребителей электрической энергии.

Повреждение – это явление, которое сопровождается значительным увеличением тока и глубоким понижением напряжения в элементах энергосистемы (типичный случай повреждения – короткое замыкание – КЗ).

Повышенный ток выделяет большое количество тепла, вызывающего разрушения в месте повреждения и опасный нагрев неповрежденных линий и оборудования, по которым этот ток протекает.

Понижение напряжения нарушает нормальную работу потребителей электроэнергии и может нарушить устойчивость параллельной работы генераторов и энергосистемы в целом.

Ненормальные режимы обычно приводят к отклонению величин напряжения, тока и частоты от допустимых значений. При понижении частоты и напряжения создается опасность нарушения нормальной работы потребителей и устойчивости энергосистемы, а повышение напряжения и тока угрожает повреждением оборудования и линий электропередачи.

Таким образом, повреждения нарушают работу энергосистемы и потребителей электроэнергии, а ненормальные режимы создают возможность возникновения повреждений или расстройств работы энергосистемы.

Для обеспечения нормальной работы энергетической системы и потребителей электроэнергии необходимо возможно быстрее выявлять и отделять место повреждения от неповрежденной сети, восстанавливая таким путем нормальные условия их работы и прекращая разрушения в месте повреждения.

Опасные последствия ненормальных режимов также можно предотвратить, если своевременно обнаружить отклонение от нормального режима и принять меры к его устранению (например, снизить ток при его возрастании, понизить напряжение при его увеличении и т. д.). Спецификой электрических процессов является быстрота их протекания. В связи с этим возникает необходимость в создании и применении автоматических устройств, выполняющих указанные операции и защищающих систему и ее элементы от опасных последствий повреждений и ненормальных режимов.

Первоначально в качестве защиты применялись плавкие предохранители. Однако по мере роста мощности и напряжения электрических установок и усложнения схем их коммутации такой способ защиты стал недостаточным, в силу чего были созданы защитные устройства, выполняемые при помощи реле и получившие название релейной защиты.

Релейная защита является основным видом электрической автоматики, без которой невозможна нормальная и надёжная работа современных энергетических систем. Она осуществляет непрерывный контроль за состоянием и режимом работы всех элементов энергосистемы и реагирует на возникновение повреждений и ненормальных режимов.

При возникновении повреждений защита выявляет и отключает от системы поврежденный участок, воздействуя на специальные силовые выключатели, предназначенные для размыкания токов повреждения.

При возникновении ненормальных режимов защита выявляет их и в зависимости от характера нарушения производит операции, необходимые для восстановления нормального режима, или подаёт сигнал дежурному персоналу.

Наибольшее распространение получили токовые защиты. Их принцип действия заключается в том, что защита срабатывает если ток защищаемого объекта станет больше

тока, на который настроена защита (тока уставки), т.е.

$$I \geq I_{c.з.}$$

Где  $I$  – ток защищаемого объекта;  $I_{c.з.}$  – ток срабатывания защиты (ток уставки).

### Основные требования, предъявляемые к защитам от КЗ

1) Селективность – (избирательность) – способность защиты отключать только повреждённый участок

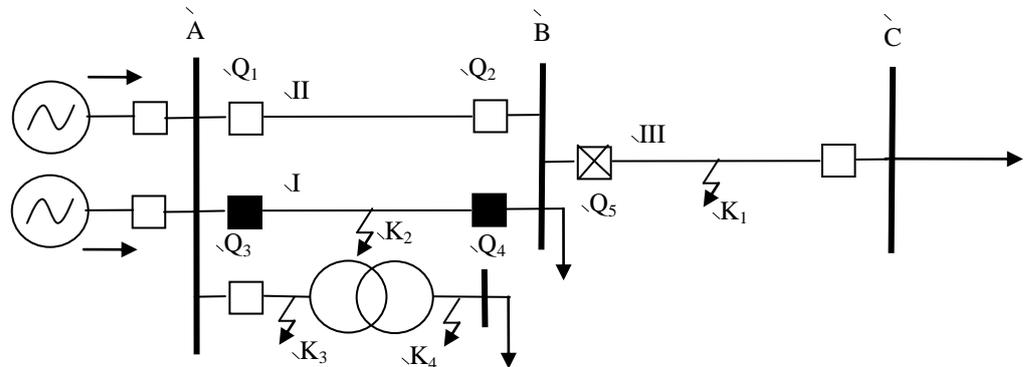


Рис. 1.1. Селективное отключение повреждённого участка при КЗ в сети

На рис. 1.1 показаны примеры селективного отключения повреждений. Так, при КЗ в точке  $K1$  защита должна отключить повреждённую линию выключателем  $Q_5$ , т.е. выключателем, ближайшим к месту повреждения, хотя по выключателям смежной линии тоже протекает ток КЗ, они отключаться не должны. При этом все потребители, кроме подсоединённого к повреждённой линии, остаются в работе.

В случае КЗ в точке  $K2$  при селективном действии защиты должна отключаться повреждённая линия  $I(Q_3, Q_4)$ , линия  $II$  остаётся в работе. При таком отключении все потребители сети сохраняют питание. Этот пример показывает, что если подстанция связана с сетью несколькими линиями, то селективное отключение КЗ на одной из линий позволяет сохранить связь этой подстанции с сетью, обеспечив тем самым бесперебойное питание потребителей. Неселективное срабатывание защит ведет к развитию аварии.

### 2) Быстродействие.

Отключение КЗ должно производиться с максимальной быстротой для ограничения размеров разрушения оборудования, повышения эффективности автоматического повторного включения линий и сборных шин, уменьшения продолжительности снижения напряжения у потребителей и сохранения устойчивости параллельной работы генераторов, электростанций и энергосистемы в целом. Последнее из перечисленных условий является главным, т.е. критерием быстродействия является устойчивость системы.

По условиям сохранения устойчивости в системах 300 ÷ 500 кВ время срабатывания защиты не должно быть больше 0,1 ÷ 0,15 с; В системах 110 ÷ 220 кВ  $t_{cp} \leq 0,15 \div 0,3$  с;

И только в распределительных сетях 3 ÷ 10 кВ допускается время срабатывания защиты  $t_{cp} = 1,5 \div 3$  с.

Быстродействие защиты часто входит в противоречие с селективностью, т.к. наиболее простой способ обеспечения селективности сделать работу релейных защит с различными выдержками времени.

3) Чувствительность – способность защиты срабатывать при самом удалённом, самом слаботочном КЗ.

Чувствительность защиты принято характеризовать коэффициентом чувствительности  $K_{ч}$ .

Для защит, реагирующих на ток КЗ:

$$K_{ч} = \frac{I_{K3.min}}{I_{c.з.}}$$

где  $I_{КЗ.min}$  — минимально возможный ток КЗ;  $I_{с.з}$  — ток срабатывания защиты.

4) Надёжность – вероятность безотказной работы защиты.

Высокая надёжность достигается: простой схемой, надёжностью каждого элемента, резервированием. Известны 2 вида резервирования:

а) последовательное (дальнее) резервирование заключается в том, что если не сработала защита данного участка, то должны сработать защиты смежного участка. Не все защиты обладают свойством последовательного резервирования, при необходимости обеспечить таковое, нужно выбирать соответствующий тип защит.

б) параллельное (ближнее) резервирование заключается в том, что на каждом выключателе устанавливают несколько защит обычно разного типа. Если отказывает одна защита, срабатывает другая.

5) Экономические требования:

На менее ответственных объектах можно устанавливать простую дешёвую защиту, но, может быть менее надёжную защиту, на более ответственных (линия 220-500 кВ трансформаторах, генераторах) объектах дорогую, но надёжную.

### **Общие принципы построения систем релейных защит**

Любая релейная защита состоит из ряда элементов определённым образом соединённых между собой. По назначению элементы могут подразделяться на датчики, усилители, стабилизаторы, распределители, двигатели, запоминающие устройства, реле.

Наибольшее распространение в релейной защите получили датчики (чувствительные элементы) и реле.

Датчиками или чувствительными элементами называют устройства, преобразующие входной сигнал в выходной, более удобный для дальнейших действий.

В релейной защите в качестве датчиков применяются трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, трансреакторы.

Реле- это элемент, у которого при плавном изменении входного сигнала выходной сигнал изменяется скачкообразно (дискретно), то есть реле срабатывает (рис 1.2).

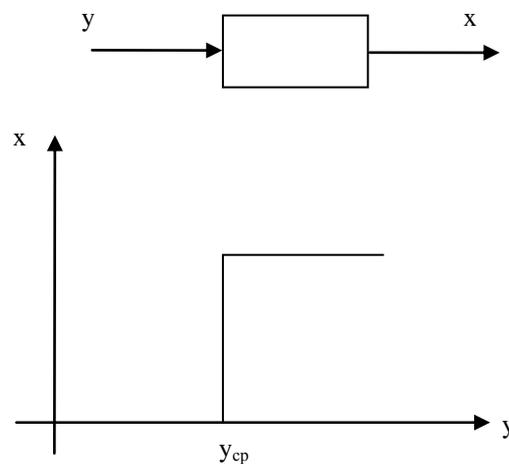


Рис 1.2 Изображение реле как элемента и его статическая характеристика.

Входной сигнал, при котором реле срабатывает, называется входным сигналом срабатывания ( $y_{ср}$ ).

Реле производящее скачкообразное изменение выходного сигнала путем замыкания или размыкания контактов называется электромеханическими. До последнего времени такие реле имели наибольшее распространение в системах релейной защиты и автоматики. В настоящее время на смену бесконтактным реле все в большей мере приходят бесконтактные на полупроводниковой или ферритмагнитной основе.

Схема любой защиты состоит из двух частей: измерительной и оперативной.

Измерительная часть состоит из чувствительных элементов и реле непрерывно контролирующего состояние защищаемого объекта.

Реле, из которых состоит измерительная часть схемы называют *основными*. В зависимости от контролируемой величины это могут быть реле тока, реле напряжения, реле частоты, тепловые реле.

При возникновении короткого замыкания или ненормального режима эти реле срабатывают и подают сигнал на оперативную часть схемы релейной защиты

Оперативная часть воспринимает информацию от измерительной части и в соответствии с программой, заложенной в оперативной части схемы, последняя вырабатывает команду на отключение выключателя, срабатывание сигнализации, работу сетевой автоматики.

Таким образом, оперативная часть схемы выполняет определенную совокупность логических операций в зависимости от характера входных сигналов, поступающих от измерительной части схемы.

В электромеханических защитах эта задача решается так же посредством реле, которые получили название вспомогательных. К ним относятся реле времени, промежуточные реле, указательные (сигнальные) реле.

В бесконтактных (микропроцессорных) системах оперативная часть релейной защиты содержит совокупность логических элементов в интегральном или цифровом вариантах.

В основе функционирования любой оперативной схемы заложены три основных логических операции.

Операция DW (“или”) представляет из себя логическое сложение  $y = x_1 + x_2 + x_3$

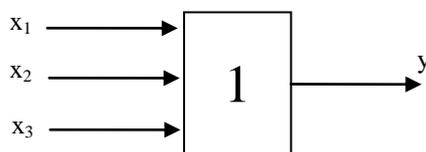


Рис 1.3 Элемент DW (“или”)  
 $x_1, x_2, x_3$ - входные сигналы  
 $y$ - выходной сигнал

Сигнал на выходе элемента появляется, если есть сигнал хотя бы на одном входе. Если для реализации этой логической операции применяются контактные элементы, то это соответствует параллельному соединению нормально разомкнутых контактов реле.

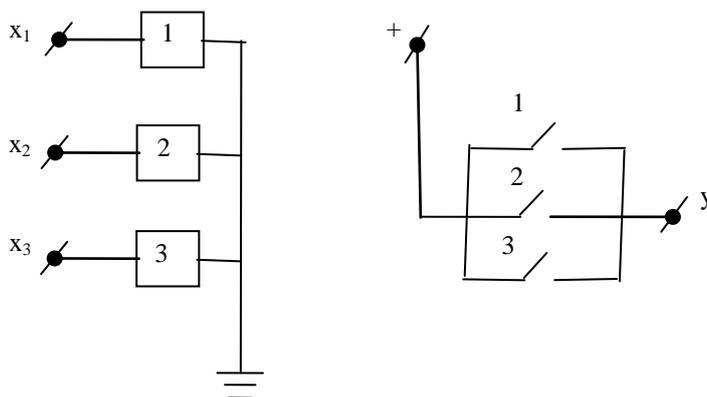


Рис 1.4 Реализация операции DW (“или”) на контактных элементах (реле)

Операция DX (“и”) представляет из себя логическое умножение  $y = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$

Сигнал на выходе элемента появится только при наличии всех сигналов на входе.

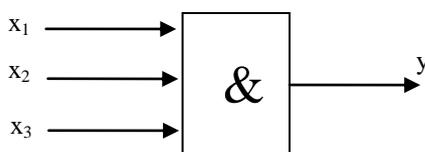


Рис. 1.5 Элемент DX (“и”)

В контактных системах это соответствует последовательному соединению нормально-разомкнутых контактов реле.

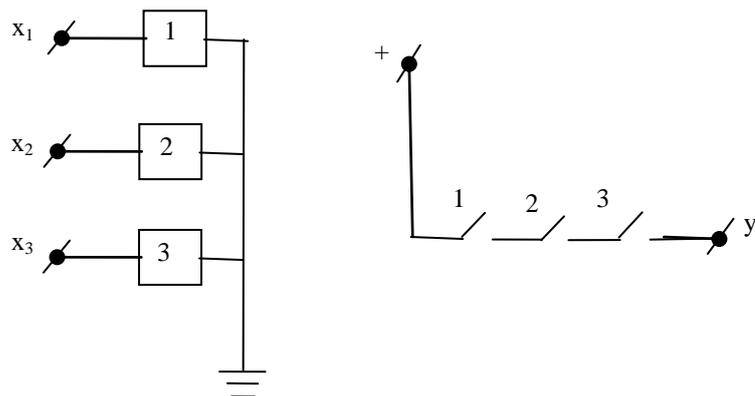


Рис 1.6 Реализация операции DX (“и”) на контактных элементах

Операция DU (“не”) выражает логическое отрицание  $y = \bar{x}$ , то есть сигнал на выходе элемента появляется только при отсутствии сигнала на входе

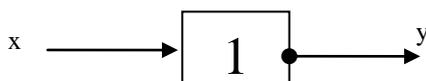


Рис 1.7 Логический элемент DU (“не”)

В контактном варианте данная операция осуществляется реле с нормально-замкнутым контактом

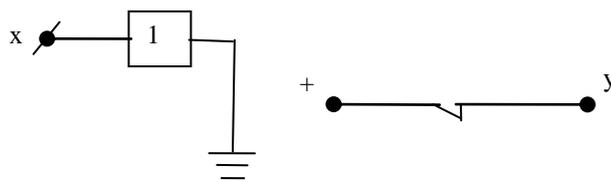


Рис 1.8 Реализация операции DU (“не”) при помощи реле

В настоящее время логические элементы выполняются на интегральных микросхемах, позволяющих в миниатюрных размерах осуществлять совокупность любых самых сложных логических операций, что и находит отражение в микропроцессорных комплексах защит.

#### **Способы включения реле на ток и напряжение сети**

Обмотки реле могут включаться на ток и напряжение сети непосредственно или через измерительные трансформаторы тока и напряжения (рис. 1.9). Реле первого типа называются первичными, второго типа – вторичными.

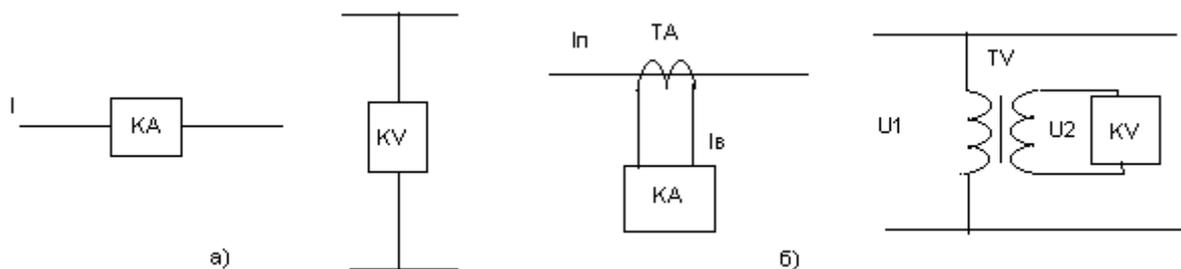


Рис.1.9. Способы включения токовых реле и реле напряжения:  
а – первичных; б – вторичных

Наибольшее распространение имеют реле вторичные, преимущества которых по сравнению с первичными состоят в том, что они изолированы от высокого напряжения, располагаются на некотором расстоянии от защищаемого элемента, в удобном для

обслуживания месте и могут выполняться стандартными на одни и те же номинальные токи 5 А или 1 А и номинальные напряжения 100 В

Достоинством первичных реле является то, что для их включения не требуется измерительных трансформаторов и контрольного кабеля. Первичные реле находят применение на электродвигателях, мелких трансформаторах и линиях малой мощности в сетях 3—6—10 кВ, т. е. там, где защита осуществляется по простейшим схемам и не требует большой точности. Во всех остальных случаях применяются вторичные реле.

## Тема 1.2. Электромеханические реле

Реле – это элемент, у которого есть входной сигнал  $y$  и выходной сигнал  $x$ .



Статическая характеристика для релейного элемента изображена на рис.2.1., характерной особенностью реле является дискретное изменение выходного сигнала при плавном изменении входного.

$Y_{cp}$  – входная величина срабатывания реле.

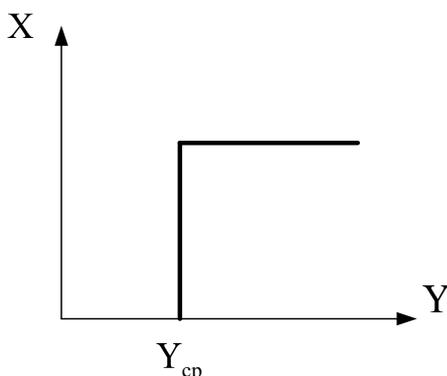


Рис.2.1. Статическая характеристика релейного элемента

В контактных (электромеханических) реле изменение выходного сигнала достигается замыканием или размыканием контактов. В бесконтактных реле – скачкообразным изменением внутреннего состояния под действием входного сигнала.

В релейной защите принято разделять все реле на 3 основные категории:

- 1) реле, реагирующие на одну электрическую величину (однофазное реле тока, однофазное реле напряжения);
- 2) реле, которое одновременно реагирует на 2 электрические величины (однофазное реле мощности, однофазное реле сопротивления);
- 3) реле, реагирующие на 3 и более электрических величин (трёхфазные реле тока, трёхфазные реле мощности, трёхфазные реле сопротивления).

Любое реле может характеризоваться 2-мя основными параметрами:

- 1) мощность срабатывания – мощность входного сигнала, при котором реле срабатывает. Ценятся те реле, у которых мощность срабатывания как можно меньше (меньше потребление энергии);
- 2) разрывная мощность – максимально возможная мощность выходного сигнала, при которой реле ещё нормально работает.

Наибольшее распространение пока что имеют электромеханические реле – это реле, которые управляют выходными цепями путём замыкания или размыкания контактов.

Эти реле постоянно замещаются бесконтактными, однако на подстанциях эта замена потребует еще длительного времени, кроме того, электромеханические реле до сих пор выпускаются промышленностью, новейших типов, работают надежно, поэтому технические специалисты должны знать их конструкцию и принцип работы.

По принципу устройства электромеханические реле различают на:

- 1) электромагнитные;
- 2) индукционные;

3) магнитоэлектрические.

### Электромагнитные реле

На рис. 2.2 представлены три основные разновидности конструкций электромагнитных реле.

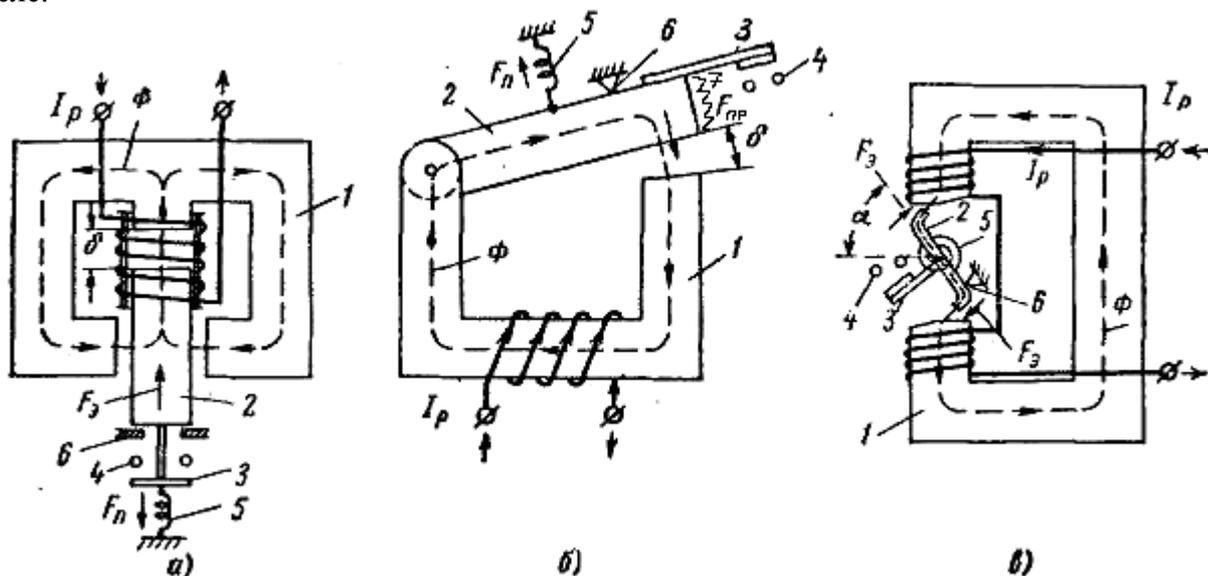


Рис. 2.2. Типы электромагнитных реле

а – с втягивающимся якорем (применяется в магнитных пускателях); б – клапанного типа (применяется во всех вспомогательных и промежуточных реле); в – с поворотным якорем (реле тока и реле напряжения)

Каждая конструкция содержит электромагнит 1, состоящий из стального сердечника и обмотки, стальной подвижный якорь 2, несущий подвижный контакт 3, неподвижные контакты 4 и противодействующую возвращающую пружину 5. Некоторые реле имеют специальный притирающий механизм 7, улучшающий контактную цепь выходного сигнала.

Проходящий по обмотке электромагнита ток  $I_p$  создаёт намагничивающую силу (н. с.)  $I_p w_p$ , под действием которой возникает магнитный поток  $\Phi$ , замыкающийся через сердечник электромагнита 1, воздушный зазор  $\delta$  и якорь 2. Якорь намагничивается и в результате этого притягивается к полюсу электромагнита. Переместившись в конечное положение, якорь своим подвижным контактом 3 замыкает неподвижные контакты реле 4. Начальное положение якоря ограничивается упором 6.

Электромагнитная сила, притягивающая стальной якорь к электромагниту определяется следующим выражением:

$$F_{\text{э}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(I_p w_p)^2}{R_m} \cdot \frac{dR_B}{d\delta}, \quad (2.1)$$

где  $w_p$  – число витков катушки электромагнита;

$R_B$  – магнитное сопротивление в воздушном зазоре;

$\delta$  – величина зазора между якорем и корпусом электромагнита.

В справочниках существуют зависимости  $R_B = f(\delta)$  для различных типов магнитных систем. Эта зависимость подставляется в выражение 2.1, дифференцируется и в результате получается конкретное соотношение величин для реле с магнитной системой данного типа. Например, для реле клапанного типа:

$$F_{\text{э}} = \frac{2\pi I_p^2 w_p^2}{\delta^2} \equiv \frac{I_p^2}{\delta^2}. \quad (2.2)$$

Из этого выражения может быть построена основная характеристика реле – тяговая характеристика:  $F_{\text{э}} = f(\delta)$ , которая снимается при определённых значениях тока (рис.2.3).

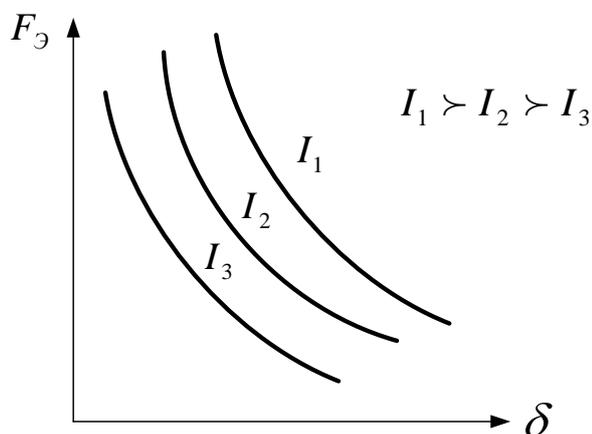


Рис.2.3. Тяговая характеристика реле

Механическая характеристика – это зависимость усилия, действующего на якорь, но при отсутствии тока, т.е.  $I_p = 0$  (рис.2.4).

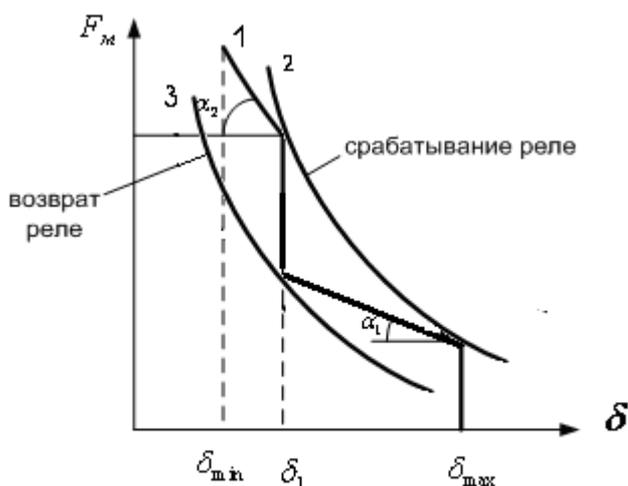


Рис.2.4. Механическая характеристика-1; Тяговая характеристика- 2,3

При исходном положении якоря зазор  $\delta = \delta_{\max}$ . Что бы якорь сдвинулся необходимо преодолеть предварительное натяжение возвращающей пружины, затем якорь начнет перемещаться, возвращающая пружина растягивается, то есть угол  $\alpha$  пропорционален жесткости возвращающей пружины  $G_{\text{возвр.пружи}}$ .

$$\alpha_1 \equiv G_{\text{возвр.пружи}}$$

При  $\delta = \delta_1$  подвижной контакт соприкасается с неподвижным. Якорь имеет возможность еще двигаться после преодоление предварительного натяжения пружины притирающего механизма до  $\delta_{\min}$ . Угол  $\delta_2$  пропорционален суммарной жесткости возвращающей и притирающей пружин.

$$\alpha_2 \equiv G_{\text{возвр.пружи}} + G_{\text{притир.пружи}}$$

Если совместить на одном графике механическую (1) и тяговые (2,3) характеристики, то очевидно, что для условий срабатывания тяговая характеристика (2) должна во всех точках лежать выше механической. Это будет при токе реле равном току срабатывания ( $I_{\text{сраб}}$ ). Для условий возврата реле, тяговая характеристика должна во всех точках лежать ниже механической (3). Это будет при  $I_{\text{возвр}}$ . Поскольку конфигурация тяговой и механической характеристик различны, то  $I_{\text{сраб}} \neq I_{\text{возвр}}$ .

Соотношение этих величин является важным параметром реле- коэффициентом возврата.

$$k_g = \frac{I_{возвр}}{I_{сраб}}$$

Из выражения 2.2 можно выявить основное свойство электромагнитных реле. Поскольку ток в выражении в квадрате, то реле не будет реагировать на полярность входного сигнала и в принципе может работать как на постоянном, так и на переменном токе.

### Тема 1.3. Реле с использованием полупроводников

#### *Некоторые сведения о полупроводниковой элементной базе, применяемой в релейной защите*

Применение полупроводниковых приборов (диодов, транзисторов и др.) позволяет уменьшить размеры реле, снизить потребление мощности от измерительных трансформаторов, повысить чувствительность, улучшить характеристики и выполнить реле без контактов и движущихся частей.

С использованием полупроводников могут выполняться как основные реле (т.е. реле тока, напряжения, мощности и сопротивления), так и элементы логической части схем защит.

Простые реле, реагирующие на одну электрическую величину – ток или напряжение, часто используется для работ, на выпрямленном токе. В качестве реагирующего (исполнительного) органа при этом используются высокочувствительные электромагнитные, поляризованные или магнитоэлектрические реле. Наибольшее распространение получили реле, включаемые на ток или напряжение сети через выпрямители, выполняемые с помощью полупроводниковых диодов (рис. 4.1).

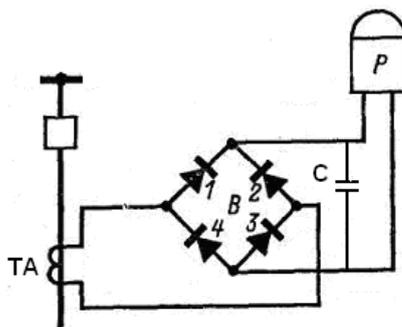


Рис.4.1. Токоевое реле на выпрямленном токе

Недостатком таких конструкций является пульсация тока после выпрямления. Для сглаживания пульсаций в схеме применяют конденсатор, но конденсатор замедляет время срабатывания, поэтому часто применяют фильтры (чаще 2-ой гармоники).

Более сложные реле, такие как реле мощности и сопротивления, реагирующие на две электрические величины – ток и напряжение, могут выполняться с использованием полупроводников на одном из следующих принципов:

- 1) на сравнении абсолютных значений двух электрических величин;
- 2) на сравнении фаз мгновенных значений двух электрических величин.

Полупроводниковая элементная база, применяемая в релейной защите, может быть разделена на неинтегральную и интегральную.

*Неинтегральная база* состоит из отдельных типовых полупроводниковых элементов (диодов VD, транзисторов VT и др.). При этом полупроводниковая защита неинтегрального исполнения содержит большое число полупроводниковых элементов, резисторов, конденсаторов и соединений между ними. Как следствие этого снижается надёжность её функционирования. Такие устройства защиты сейчас не находят широкого применения (примером является максимальная токовая защита МТЗ-М и дистанционная защита ДЗ-10).

*Полупроводниковая интегральная элементная база* (полупроводниковые интегральные микросхемы) – это сложное полупроводниковое устройство. Его элементы (диоды, транзисторы, резисторы и конденсаторы) формируются в небольшом объёме полупроводникового материала или на его поверхности путём выращивания кристаллов и напыления плёнок. В процессе их формирования осуществляются и соединения между ними

в соответствии со схемой, при этом резко сокращается число внешних проводников, упрощается монтажная схема, уменьшается объём устройства и повышается его надёжность. В зависимости от функционального назначения интегральные микросхемы делятся на *аналоговые* и *цифровые*. К первым относятся операционные усилители (ОУ). Они преобразуют непрерывные сигналы и имеют широкие возможности для использования их в измерительных органах. На основе цифровых микросхем выполняют, в частности, логическую часть устройств релейной защиты и автоматики. Они преобразуют и обрабатывают дискретные сигналы, выраженные в двоичном или другом цифровом коде.

#### **Полупроводниковые реле на основе сравнения модулей двух напряжений**

Общие принципы выполнения и структурная схема всех видов реле на сравнении абсолютных значений двух напряжений  $U_I$  и  $U_{II}$  одинаковые и показаны в виде блок-схемы на рис. 4.2. Реле состоят из функциональных блоков 1 (формирующих математические выражения 4.1), выпрямителей 2 (V1 и V2), схемы сравнения абсолютных значений  $U_I$  и  $U_{II}$  3 и исполнительного органа 4.

Напряжение и ток сети  $U_p$  и  $I_p$  подводятся к функциональным блокам, на выходе которых образуются два напряжения:

$$\begin{aligned} U_I &= k_1 U_p + k_2 I_p \\ U_{II} &= k_3 U_p + k_4 I_p \end{aligned} \quad (4.1)$$

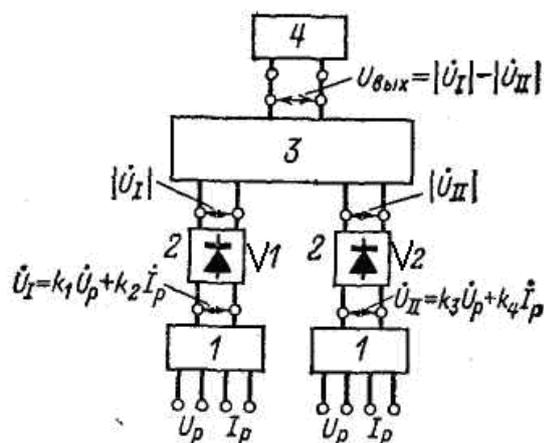


Рис. 4.2. блок схема реле на основе сравнения абсолютных значений 2-х напряжений

Если эти напряжения являются линейными функциями от  $U_p$  и  $I_p$  ( $k_1, k_2, k_3, k_4$  – постоянные коэффициенты), то подбирая эти коэффициенты можно получить релейные конструкции с самыми разнообразными свойствами.

#### **Полупроводниковое реле направления мощности**

Схема реле направления мощности на сравнении величин двух напряжений  $U_I$  и  $U_{II}$ , построенная по блок-схеме (рис. 4.2), приведена на рис. 4.3. Для упрощения на схеме не показаны функциональные блоки. В качестве схемы сравнения принята довольно распространённая схема на балансе напряжений, а в качестве нуля-индикатора (НИ) показано магнитоэлектрическое (или поляризованное) реле. Применяются и другие варианты исполнения обоих элементов.

Сравниваемые напряжения, получаемые с помощью сумматора и подводимые к зажимам выпрямителей В1 и В2 выражаются уравнениями:

$$\begin{aligned} U_I &= U_p + k I_p \\ U_{II} &= U_p - k I_p \end{aligned} \quad (4.2)$$

Это соответствует выражениям (4.1), если принять в них  $k_1 = k_3 = 1$ ,  $k_2 = k_4 = k$  и изменить знак во втором выражении.

После выпрямления на схему сравнения подаются напряжения:

$$\begin{aligned} |U_I| &= |U_p + k I_p| \\ |U_{II}| &= |U_p - k I_p| \end{aligned}$$

Эти напряжения в контуре схемы сравнения направлены встречно, в результате чего

$$U_{\text{вых}} = |U_I| - |U_{II}| = |U_p + kI_p| - |U_p - kI_p|.$$

Реле будет действовать, если  $|U_p + kI_p| > |U_p - kI_p|$ .

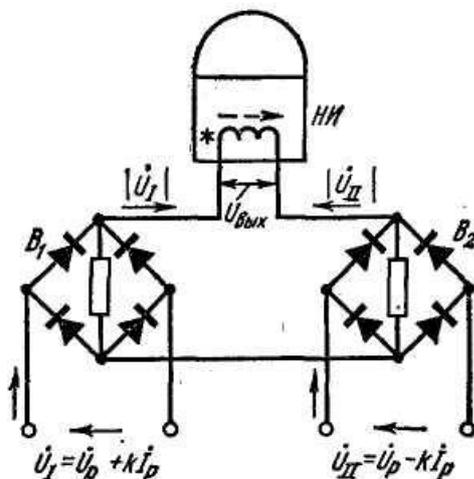


Рис.4.3. Схема реле направления мощности на сравнении абсолютных величин двух напряжений

Покажем, что рассмотренная схема ведёт себя как реле направления мощности. На рис. 4.4 приведены векторные диаграммы  $U_p$  и  $I_p$ ,  $U_I$  и  $U_{II}$  при КЗ на защищаемой линии в точке К1 и на соседней линии в точке К2, построенные в предположении, что вектор напряжения  $kI_p$  совпадает по фазе с током  $I_p$ .

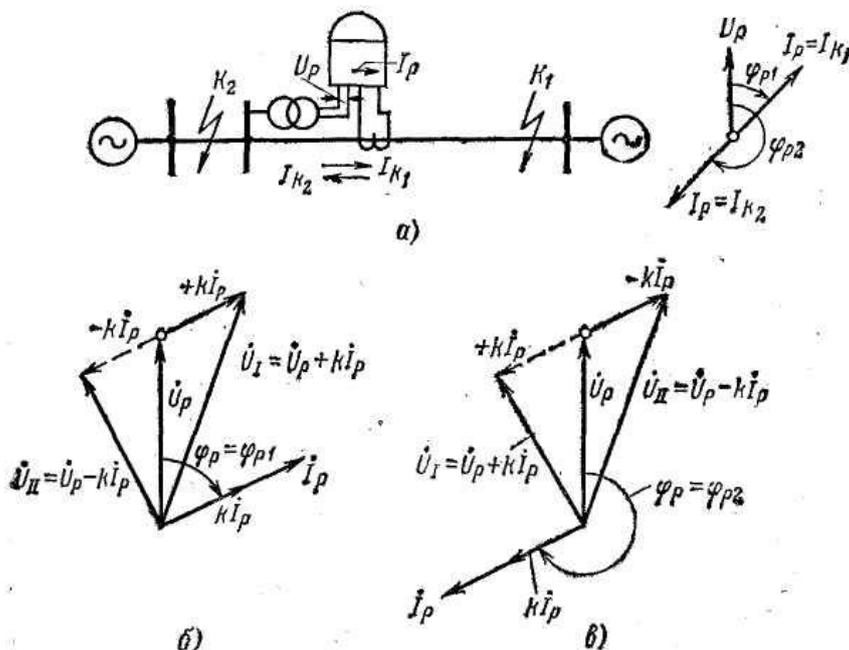


Рис. 4.4. Векторная диаграмма реле.

а – схема сети; б – диаграмма при КЗ в зоне; в – диаграмма при КЗ вне зоны

Из этих диаграмм следует, что при КЗ на защищаемой линии в точке К1 (см. рис. 4.4, а и б), когда мощность направлена от шин в линию и, имеет положительный знак, модуль вектора  $|U_p + kI_p| > |U_p - kI_p|$ , поэтому  $U_{\text{вых}}$  имеет положительный знак и реле действует. При КЗ на соседней линии (в точке К2, рис. 4.4, а и в) мощность направлена к шинам подстанции и имеет отрицательный знак.

В этом случае вектор тока  $I_p$  и соответственно вектор  $kI_p$  по сравнению с КЗ в точке К1 изображаются на диаграмме повернутыми на  $180^\circ$  (рис. 4.4, в). В результате этого  $|U_p + kI_p| \leq |U_p - kI_p|$ , напряжение  $U_{вых}$  становится отрицательным и реле не действует. Из этого следует, что реле ведет себя при КЗ как реле направления мощности. Реле действует, если мощность КЗ направлена от шин, и не работает, если она направлена к шинам.

#### Тема 1.4. Токковые защиты

##### Общие понятия о токовых защитах.

Токковые защиты – защиты реагирующие на ток защищаемого объекта. Принцип работы токовой защиты: защита срабатывает, если ток защищаемого объекта становится больше или равен току срабатывания защиты (току уставки), т.е.  $I \geq I_{с.з.}$ ,  $I_{с.з.} = I_y$ .

Первыми токовыми защитами были защиты при помощи плавких предохранителей. Большое распространение получили 2 основных вида токовых защит: токовые отсечки (ТО) и максимальные токовые защиты (МТЗ). При одинаковом принципе действия эти защиты различаются способом обеспечения селективности.

##### Плавкие предохранители

Работа плавких предохранителей основана на сгорании плавкой вставки, когда ток протекающий по ней больше или равен току плавления плавкой вставки.

Плавкая вставка предохранителя является простейшей токовой защитой с зависимой от тока характеристикой выдержки времени. Она предназначена для защиты электроустановок от токов КЗ и от длительной перегрузки, если этого требует характер электрической сети. При этом надёжная работа предохранителя обеспечивается, если номинальный ток отключения предохранителя  $I_{пр.откл}$  больше максимального расчетного тока КЗ  $I_{кmax}$  проходящего в защищаемом элементе, а номинальное напряжение предохранителя  $U_{пр.ном}$  равно номинальному напряжению сети, в которой он установлен. Плавкая вставка предохранителя не должна перегорать в нормальном режиме работы и при кратковременных перегрузках защищаемого элемента электроустановки.

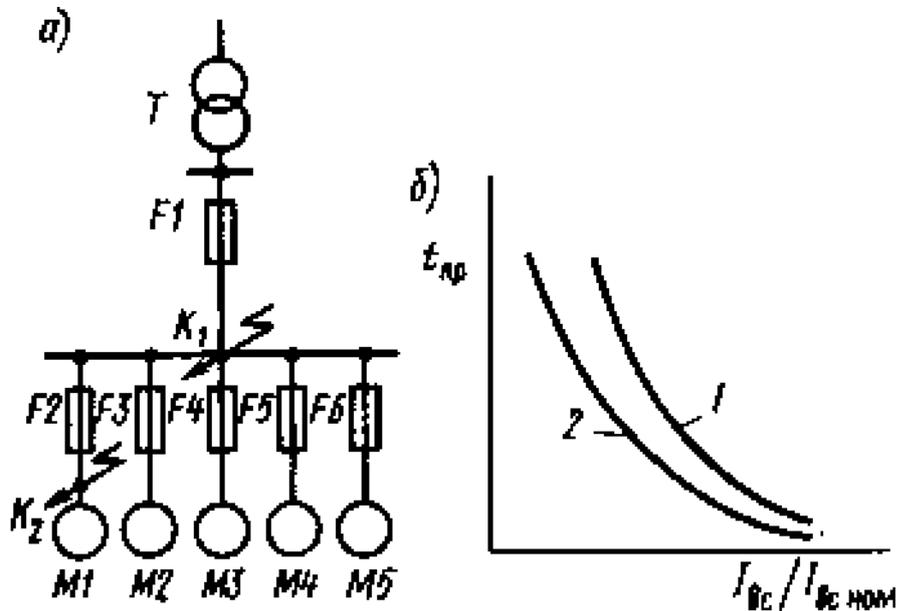


Рис.6.1. Защита предохранителями радиальной сети с односторонним питанием

При выборе предохранителя  $F1$  для защиты линии  $L$  (рис.6.1) сети напряжением  $U_c$  следует учитывать условия:

$$U_{пр.ном} = U_c \text{ и } I_{пр.откл} \geq I_{кmax},$$

а его плавкую вставку выбирать с учетом следующего:

$$I_{вс.ном} \geq k_H \cdot I_{раб.мах} \text{ (первое условие),}$$

$$I_{\text{вс.ном}} \geq I_{\text{пер}} / k_{\text{пер}} \text{ (второе условие),}$$

$$I_{\text{вс.ном}} \leq I_{\text{к.мин}} / (10 \dots 15) \text{ (третье условие – исключение отпускания контактов магнитных.}$$

пускателей при снижении напряжения),

где  $I_{\text{раб.мах}}$  – максимальный рабочий ток, проходящий через предохранитель;  $k_n=1,1\dots1,25$  – коэффициент надёжности;  $k_{\text{пер}}$  – коэффициент перегрузки ( $k_{\text{пер}} = 1,6\dots 2$  – для тяжёлых условий пуска электродвигателей;  $k_{\text{пер}} = 2,5$  – для лёгких условий пуска).

Ток кратковременной перегрузки  $I_{\text{пер}}$  принимается большим из двух значений, рассчитанных: для случая пуска наиболее мощного электродвигателя и режима нормальной работы всех остальных потребителей, подключенных к защищаемой линии, – по формуле

$$I_{\text{пер}} = k_c \sum_1^{n-1} I_{\text{раб.мах}} + I_{\text{пуск.мах}}$$

для режима самозапуска оставшихся в работе электродвигателей, возникающего после отключения повреждённого потребителя, например после отключения электродвигателя  $M1$  предохранителем  $F2$  (КЗ в точке  $K2$ , рис 6.1),

$$I_{\text{пер}} = \sum_1^m I_{\text{пуск}}$$

где  $\sum_1^{n-1} I_{\text{раб.мах}}$  – сумма максимальных рабочих токов всех потребителей, присоединённых к защищаемой линии без учёта электродвигателя с наибольшим пусковым током  $I_{\text{пуск.мах}}$  ;

$\sum_1^m I_{\text{пуск}}$  – сумма пусковых токов самозапускающихся электродвигателей;  $n$  — число потребителей;  $m$  — число самозапускающихся электродвигателей ;  $k_c$  — коэффициент спроса,  $k_c < 1$ .

В зависимости от характера нагрузки и необходимости самозапуска номинальный ток плавкой вставки выбирают по первому или второму условию, принимают ближайшим по шкале стандартных токов и проверяют по третьему условию при наличии в защищаемой сети магнитных пускателей или контакторов. Выбранные предохранители должны удовлетворять требованиям чувствительности и по возможности действовать селективно.

### **Токовые отсечки**

Отсечка является разновидностью токовой защиты, позволяющей обеспечить быстрое отключение КЗ. Токовые отсечки подразделяются на отсечки мгновенного действия и отсечки с выдержкой времени (около 0,3—0,6 с).

#### **Токовые отсечки мгновенного действия (ТО)**

Токовые отсечки (ТО) – это защиты мгновенного действия (без выдержки времени).

Селективность ТО обеспечивается ограничением зоны их действия, т.е. самой настройкой тока срабатывания защиты  $I_{\text{с.з.}}$  (защита чувствует КЗ только на своём участке).

Как известно ток трёхфазного КЗ (самой большой величины) определяется следующим образом:

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma K}},$$

где  $U$  – напряжение в сети, кВ;

$X_{\Sigma K}$  – суммарное сопротивление до точки КЗ.

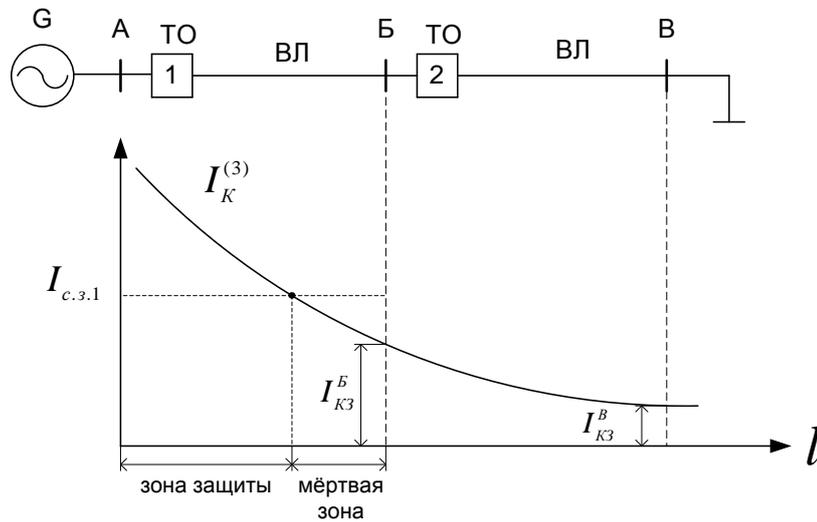


Рис. 6.2. К выбору тока срабатывания ТО

Принцип настройки ТО: токовая отсечка «отстраивается» от максимального тока КЗ в конце защищаемого участка, т.е.  $I_{c.z.} > I_{KЗ \max}^{в \text{ конце защ. участка}}$ .

Таким образом, для ТО1 (рис.6.2) выбор тока срабатывания определяется как:

$$I_{c.z.} = k_H \cdot I_{KЗ(3)}^Б,$$

где  $k_H = 1,1 \div 1,2$  – коэффициент надёжности.

Основной недостаток ТО – наличие зоны нечувствительности даже при  $I_K^{(3)}$  (Рис 6.2). При двухфазном КЗ, для которого  $I_K^{(2)} = 0,86 I_K^{(3)}$ , кривая будет проходить ниже и зона нечувствительности ещё больше возрастёт.

Как известно токовые реле защиты подключаются на ток защищаемой сети через трансформаторы тока (ТА). В трёхфазной системе ко вторичным обмоткам ТА могут присоединяться реле по различным схемам: полной и неполной звезды; полного и неполного треугольника. Соотношение между током, протекающим по обмотке реле и током, протекающим по вторичной обмотке трансформатора тока, получило название коэффициента схемы -  $K_{cx}$ . На рис.6.3 и 6.4 приведены соответствующие соотношения для различных схем.

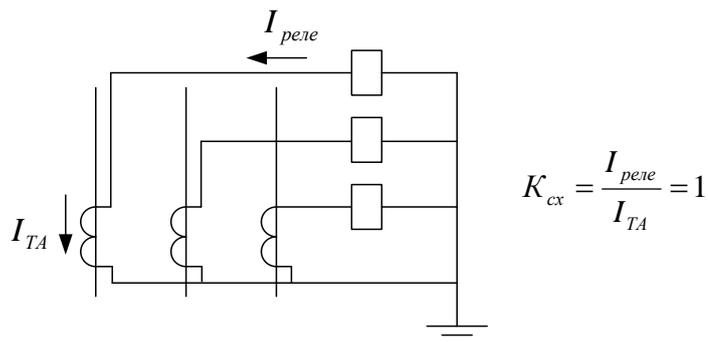


Рис. 6.3. Схема соединения ТА в полную звезду

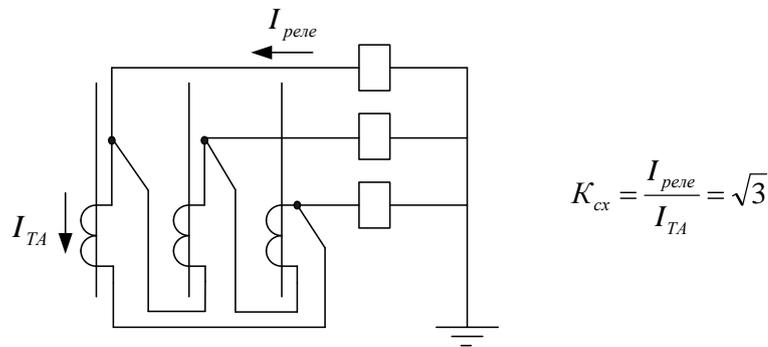


Рис.6.4. Схема соединения ТА и реле в полный треугольник

С учетом вышесказанного, ток срабатывания реле определяется по выражению:

$$I_{с.р.} = \frac{K_{cx}}{K_{TA}} \cdot I_{с.з.},$$

где  $K_{cx}$  – коэффициент схемы;  $K_{TA}$  – коэффициент трансформации трансформатора тока.

Чувствительность токовых отсечек может оцениваться:

- 1) зоной действия ТО (она не должна быть меньше 30% от длины участка);
- 2) коэффициентом чувствительности:

$$K_{\eta} = \frac{I_{кз\min}}{I_{с.з.}}$$

к току срабатывания защиты.

### Тема 1.5. Дифференциальные защиты ЛЭП

Дифференциальные защиты реагируют на разность токов. Нашли применение 2 основных вида этих защит продольные и поперечные.

#### Продольные дифференциальные защиты

Продольные дифференциальные защиты (ПрДЗ) применяются на коротких линиях, примыкающих к мощным источникам питания. Смысл их в том, что измеряется ток в начале участка и в конце участка, а реле защиты ставится на разность этих токов, рис 8.1

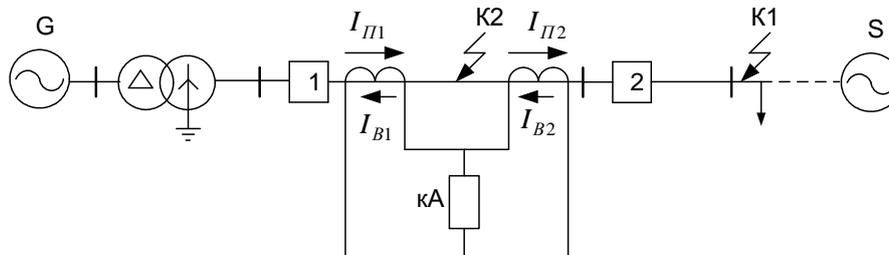


Рис 8.1 Принцип продольной дифференциальной защиты

- 1) нормальный режим:  $I_{П1} = I_{П2}$ ;  $I_{B1} = I_{B2}$ ;  $I_p = I_{B1} - I_{B2} = 0$  – защита не работает
- 2) внешнее КЗ (точка К1):  $I_{П1} = I_{П2}$ ;  $I_{B1} = I_{B2}$ ;  $I_p = I_{B1} - I_{B2} = 0$  – защита не работает, т.о. ПрДЗ в силу своего принципа действия не реагирует на внешние КЗ, т.е. она обладает абсолютной селективностью;
- 3) КЗ на защищаемой линии (точка К2):  $I_{П1} \neq I_{П2}$ ;  $I_{B1} \neq I_{B2}$ ;  $I_p = I_{B1} - I_{B2} \neq 0$  – баланс нарушается, по реле протекает ток и защита срабатывает
- 4) в системах с двухсторонним питанием, при КЗ на защищаемой линии по реле будет протекать сумма вторичных токов от обеих источников, реле почувствует этот ток и защита срабатывает.

Таким образом, ПрДЗ одинаково хорошо работают в системах с односторонним и двухсторонним питанием. Недостатком защиты является необходимость иметь контрольный кабель для сравнения токов, поэтому защита применяется только на коротких линиях.

Более часто ПрДЗ применяют для защиты отдельного оборудования (силовые трансформаторы, подстанционные шины, статорные обмотки двигателей и генераторов).

Реализации свойств ПрДЗ мешают токи небаланса, т.е. токи, протекающие в реле, которые теоретически протекать не должны. Особенно большие токи небаланса протекают при внешних КЗ. Токи небаланса могут вызвать ложное срабатывание защиты, поэтому защита отстраивается от максимально возможных токов небаланса. Однако, при этом снижается чувствительность защиты. Поэтому для совершенствования ПрДЗ необходимо вести борьбу с этими токами небаланса.

### **Тема 1.6. Дистанционные защиты ЛЭП** **Общий принцип дистанционной защиты (ДЗ)**

В сетях сложной конфигурации с несколькими источниками питания простые и наиболее универсальные максимальные токовые направленные защиты (МТНЗ) не могут обеспечить селективного отключения КЗ. Так, например, при КЗ в точке К1 (рис. 9.1) должна действовать быстрее защита №1, а защита №3 не должна сработать, т.е. выбор выдержек времени срабатывания защит определяется условием  $t_1 < t_3$ . Пусть теперь КЗ произошло в точке К2 (рис. 9.1). В этом случае должна действовать быстрее защита №3, а защита №1 не должна сработать, т.е.  $t_3 < t_1$ . Эти противоречивые требования не могут быть выполнены с помощью МТНЗ. В связи с этим желательно иметь защиту, время действия которой определяется расстоянием от места её установки до места КЗ. Такой защитой является **дистанционная защита (ДЗ)**.

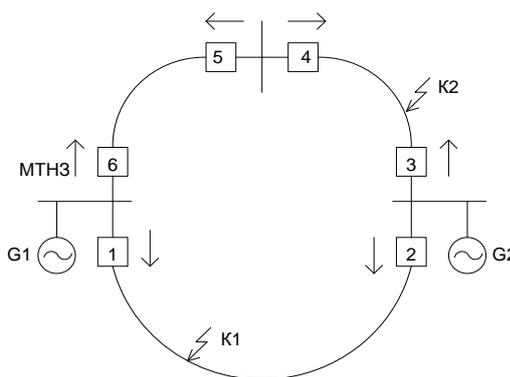


Рис. 9.1. Кольцевая сеть с двумя источниками питания

Основным элементом ДЗ является дистанционный измерительный орган (ДО), определяющий удалённость КЗ от места установки защиты. В качестве ДО используются реле сопротивления, реагирующие на полное, реактивное или активное сопротивление поврежденного участка ЛЭП ( $Z$ ,  $X$  или  $R$ ).

Необходимо отметить, что сопротивление фазы ЛЭП от места установки реле до места КЗ пропорционально длине этого участка, так как величина сопротивления до места КЗ равна длине участка умноженному на удельное сопротивление линии,  $Z = L \cdot z_{уд}$ . Таким образом, поведение дистанционного органа, реагирующего на сопротивление линии, зависит от расстояния до места повреждения. В зависимости от вида сопротивления, на которое реагирует ДО ( $Z$ ,  $X$  или  $R$ ), различают ДЗ полного, реактивного и активного сопротивлений. Отечественные ДЗ построены, в основном, на реле полного сопротивления.

#### **Понятия о ступенях защиты**

Дистанционная защита, обычно выполняется трёхступенчатой с относительной селективностью. Параметрами каждой ступени являются длина защищаемой зоны и время срабатывания. Выдержки времени защиты иллюстрируются графиками (рис. 9.2, а). Защита ДЗ1 имеет характеристику 1, защита ДЗ2 – характеристику 2, защита ДЗ3 – характеристику

3. При повреждении в точке К1 приходят в действия защиты ДЗ1 и ДЗ2, но повреждение отключает ближайшая к нему защита ДЗ2, так как она имеет меньшую выдержку времени. Если повреждение возникает в точке К2, то оно отключается ближайшей к нему защитой ДЗ3.

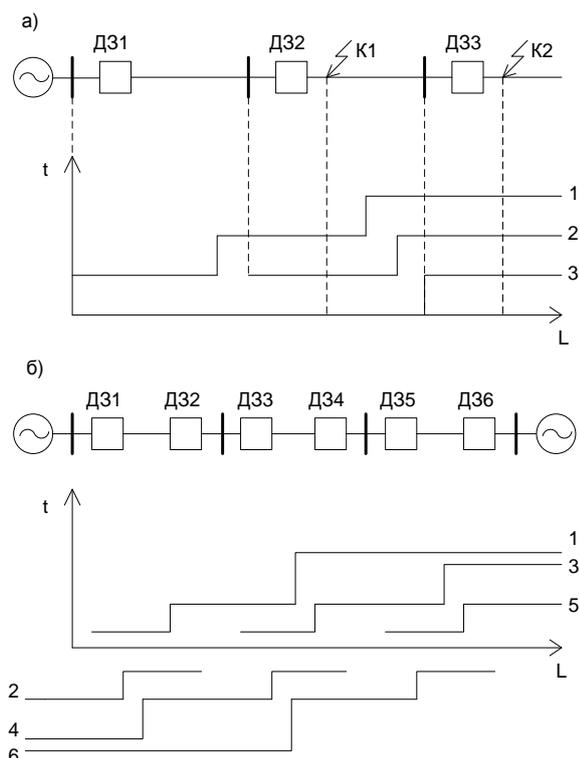


Рис. 9.2. Ступенчатые характеристики выдержек времени дистанционной защиты

На линиях с двусторонним питанием ДЗ выполняется направленной, а выдержки времени соответствующих ступеней защиты выбираются, как и у токовой направленной защиты, по встречно-ступенчатому принципу (рис.9.2, б). Селективное действие могут обеспечивать также дистанционные защиты с зависимыми от тока и комбинированными характеристиками выдержек времени.

### Тема 1.7. Высокочастотные защиты

#### *Общие понятия о высокочастотных защитах*

В настоящее время наиболее совершенными считаются высокочастотные защиты (ВЧЗ), т.к. они сочетают в себе идеальное быстродействие, селективность, способность отключать ЛЭП с 2-х сторон в самых ответственных системах. В результате такие защиты отвечают самому основному требованию – сохранение устойчивости ЭЭС.

Любая ВЧЗ состоит из 2-х комплектов, расположенных по концам ЛЭП. Связь между комплектами осуществляется по высокочастотным каналам, в качестве которых используются сами же фазы ЛЭП. По своему принципу действия различают 2 типа ВЧЗ: 1) направленная защита с высокочастотной блокировкой; 2) дифференциально-фазная ВЧЗ.

При наличии ВЧЗ ЛЭП претерпевает так называемую ВЧ обработку (обычно обрабатывается одна фаза), что поясняется схемой, показанной на Рис.10.1.

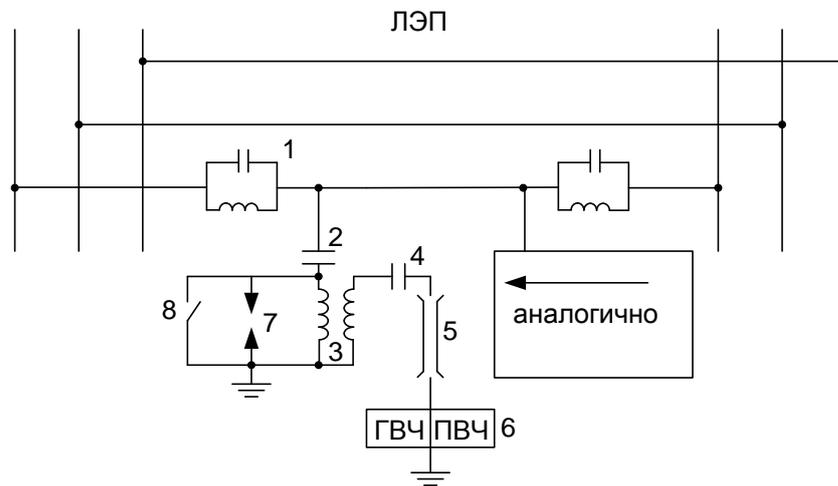


Рис 10.1 Схема высокочастотной обработки ЛЭП

- 1 – заградительный фильтр (пропускает ток частотой 50 Гц, но не пропускает сигналы высокой частоты на подстанцию);
- 2 – конденсатор связи (пропускает только сигналы высокой частоты и служит изолятором для напряжения от основной частоты 50 Гц);
- 3 – воздушный трансформатор; 4 – конденсатор (в совокупности 3 и 4 является полосовым фильтром – пропускает узкую полосу высокочастотных сигналов);
- 5 – высокочастотный кабель;
- 6 – приёмно-передатчик (состоит из генератора высокой частоты и приёмника высокой частоты);
- 7 – разрядник;
- 8 – заземляющий нож.

#### **Общий принцип направленной защиты с высокочастотной блокировкой**

Данная защита по своему принципу действия напоминает МТНЗ. Как уже отмечалось ранее, устанавливаются 2 комплекта защит по концам линии.

Защитам разрешено срабатывать только в том случае, если ПВЧ перестают принимать ВЧ сигнал. Работой ГВЧ управляет реле направления мощности (устанавливается в каждом комплекте). При КЗ на линии срабатывает реле направления мощности как 1, так и 2 комплектов. Оба ГВЧ отключаются, приёмники перестают принимать ВЧ сигнал и разрешают срабатывать защитам. Обе защиты срабатывают и отключают линию с 2-х сторон.

При КЗ вне зоны действия защит (на соседней линии) в одном из комплектов реле направления мощности не срабатывает. Соответственно ГВЧ продолжает работать. Оба ПВЧ принимают ВЧ сигнал и запрещают срабатывать защитам. В результате выдержка времени не нужна.

## **Раздел 2. Защиты машин и аппаратов**

### **Тема 2.1. Защита силовых трансформаторов**

Как показывает практика эксплуатации в силовых трансформаторах могут возникать повреждения и ненормальные режимы.

Основными видами повреждений в трансформаторах и автотрансформаторах являются (К1):

- а) замыкания между фазами внутри кожуха трансформатора и на наружных выводах обмоток (К2);
- б) замыкания в обмотках между витками одной фазы (так называемые витковые замыкания);
- в) замыкания на землю обмоток или их наружных выводов (К3) рис 11.1;
- г) повреждение магнитопровода трансформаторов, приводящее к появлению местного нагрева и «пожару стали».

Опыт показывает, что КЗ на выводах и витковые замыкания в обмотках трансформаторов происходят наиболее часто.

Междуфазные повреждения внутри трансформаторов возникают значительно реже. В трехфазных трансформаторах они хотя и не исключены, но маловероятны вследствие большой прочности междуфазной изоляции.

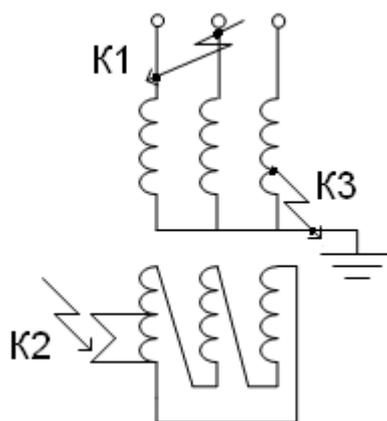


Рис. 11.1. Повреждения в обмотках трансформатора

Наиболее частым ненормальным режимом работы трансформаторов является появление в них сверхтоков, т. е. токов, превышающих номинальный ток обмоток трансформатора. Появления сверхтоков возникает в следующих случаях:

**1) Внешние КЗ.** При внешнем КЗ, вызванном повреждением на шинах трансформатора или неотключившимся повреждением на отходящем от шин присоединении, по трансформатору проходят токи КЗ, превышающие номинальные токи. Сверхтоки нагревают обмотки сверх допустимого значения температуры, что может привести к повреждению трансформатора.

**2) Перегрузка.** Наиболее часто возникают кратковременные, самоликвидирующиеся перегрузки, неопасные для трансформатора ввиду их непродолжительности. Например, перегрузки, вызванные самозапуском электродвигателей или толчкообразной нагрузкой (электропоезда, подъёмники и т. п.). Отключения трансформатора при таких перегрузках не требуется. Более длительные перегрузки, вызванные, например, автоматическим подключением нагрузки от АВР, отключением параллельно работающего трансформатора и т. п., могут быть ликвидированы обслуживающим персоналом, который имеет для этого достаточное время. На подстанциях без дежурного персонала ликвидация длительной перегрузки должна производиться автоматически от защиты отключением менее ответственных потребителей или перегрузившегося трансформатора.

**3) Повышение напряжения.** Оно возникает при одностороннем отключении длинных линий с большой ёмкостной проводимостью или при резонансе, вызванном определенным сочетанием ёмкости линии и индуктивности шунтирующих реакторов. Повышение напряжения вызывает увеличение магнитной индукции в магнитопроводе трансформатора, вследствие чего происходит возрастание тока намагничивания и вихревых токов. Эти токи нагревают обмотку и сердечник трансформатора, что может привести к повреждению изоляции обмоток и «пожару железа» сердечника. Чем больше уровень повышения напряжения, тем меньше время  $t_{нов}$ , в течение которого оно допускается.

#### **Общий обзор защит трансформаторов**

На трансформаторах мощностью до 500 кВА в качестве защит от всех видов повреждений и ненормальных режимов употребляются плавкие предохранители, либо простейшие автоматы.

На трансформаторах мощностью 500 ÷ 6300 кВА применяются токовые защиты: ТО – от КЗ в основном на первичных зажимах и в первичной обмотке; МТЗ от сверхтоков; МТЗ от перегрузки.

На всех масляных трансформаторах в дополнение применяется ещё и газовая защита, первая ступень которой действует на сигнал, а вторая – на отключение

На трансформаторах мощностью выше 6300 кВА применяется продольная дифференциальная защита (ПрДЗ); МТЗ от сверхтоков, МТЗ от перегрузки и газовая защита.

На некоторых трансформаторах устанавливается защита нулевой последовательности типа МТЗ. При этом ПУЭ рекомендует устанавливать МТЗ<sub>0</sub> на 2-х обмоточных повышающих трансформаторах, на всех автотрансформаторах (АТ), на трёхобмоточных трансформаторах с 2-х сторонним питанием.

## **Тема 2.2. Защиты электродвигателей**

### ***Повреждения и ненормальные режимы в электродвигателях***

Наиболее частыми повреждениями в электродвигателях являются междуфазные КЗ в обмотках статора и на зажимах двигателя. Различают двигатели низковольтные (до 1 кВ), которые питаются от четырёхпроводной сети. В этих двигателях достаточно типичным повреждением является КЗ фаза-корпус. В высоковольтных двигателях (3, 6, 10 кВ) применяется трёхпроводная система, поэтому там типичным повреждением является междуфазное КЗ.

Междуфазные КЗ вызывают значительные разрушения и сопровождаются понижением напряжения в питающей сети с нарушением нормальной работы остальных потребителей. Поэтому защита электродвигателей от междуфазных повреждений является обязательной.

Однофазные замыкания обмотки статора на землю у высоковольтных выключателей менее опасны, так как сети, от которых питаются электродвигатели, как правило, работают с изолированными нейтральными. Защита электродвигателей от замыкания на землю устанавливается в тех случаях, когда ток замыкания на землю достигает 5—10 А.

Специальные защиты от витковых замыканий в одной фазе статора не применяются, так как простых способов ее выполнения на сегодняшний день не существует.

Наиболее частым ненормальным режимом для электродвигателей является перегрузка. Специфика в том, что у электродвигателей существует и рабочая перегрузка (при пуске).

Прохождение повышенных токов сверх определенного времени опасно для электродвигателей. Поэтому на электродвигателях, подверженных перегрузкам, устанавливается защита от перегрузки, которая в зависимости от условий работы и обслуживания электродвигателей выполняется действующей на сигнал, разгрузку приводимого механизма или отключение электродвигателя.

В некоторых случаях является недопустимым или нежелательным самозапуск электродвигателей при восстановлении напряжения после кратковременного его исчезновения. Такое положение может иметь место по условиям технологии производства или безопасности персонала, а также бывает необходимо для ограничения токов самозапуска путём отключения части малоответственных электродвигателей. На таких электродвигателях устанавливается защита минимального напряжения, действующая на их отключение.

Для синхронных двигателей может быть ещё один специфический ненормальный режим – асинхронный ход, т.е. синхронный двигатель может выпадать из синхронизма (при глубоком понижении напряжения, повышении нагрузки), длительное существование такого режима недопустимо..

Низковольтные электродвигатели, как правило, коммутруются магнитными пускателями – это предполагает специфику схемы управления и защиты. Высоковольтные электродвигатели коммутруются, как правило, масляными выключателями.

### ***Защиты электродвигателей***

Типы защит определяются мощностью электродвигателей. Различают электродвигатели:

- 1) Малой мощности (до 500 кВт), это как правило низковольтные двигатели
- 2) Средней мощности (от 500 до 2000 кВт);
- 3) Большой мощности (более 2000 кВт), выполняются на высокие напряжения.

### ***Защита низковольтных электродвигателей***

Для защиты асинхронных электродвигателей 660 В и 380 В применяются плавкие предохранители, автоматы, тепловые реле, встроенные в магнитные пускатели. Коммутационными аппаратами для двигателей низкого напряжения служат магнитные пускатели или контакторы. Защиты и цепи управления выполняют на переменном оперативном токе (рис.12.1). Плавкие предохранители защищают двигатель в основном от коротких замыканий, тепловые расцепители в магнитных пускателях – от перегрузки.

Тепловая защита (КК) представляет из себя биметаллическую пластину, на которую намотана проволока с высоким электрическим сопротивлением (нихром, никелин, константан). Если по двигателю протекает номинальный ток  $I_{ном}$ , то проволока практически не нагревается. Если начинает протекать ток перегрузки, то пластина нагревается и сгибается – освобождается защёлка и размыкаются контакты КК.

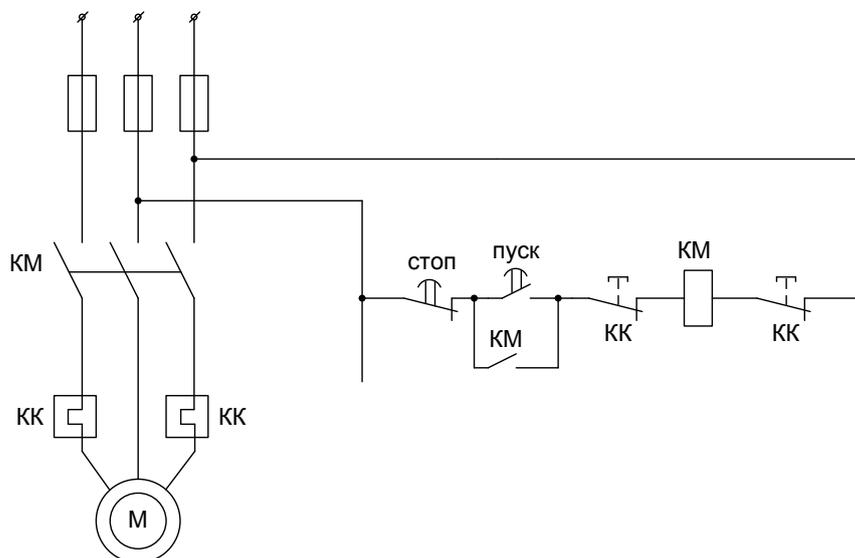


Рис. 12.1. Защита электродвигателей малой мощности  
 КМ – магнитный пускатель; КК – тепловая защита (обычно встроена в магнитный пускатель)

### 1. Защита плавкими предохранителями.

Выполняется трёхфазной отдельно для каждого двигателя с соблюдением следующих условий:

1) корпус предохранителя должен выбираться на напряжение, соответствующее напряжению сети

$$U_{пр.ном} = U_C, \quad (12.1)$$

где  $U_{пр.ном}$  – номинальное напряжение предохранителя;  $U_C$  – напряжение сети.

2) предельный ток отключения предохранителем (отключающая способность) должен быть больше максимально возможного тока КЗ:

$$I_{пр.откл.} = I_{КЗ}^{max}, \quad (12.2)$$

где  $I_{пр.откл.}$  – предельный ток отключения;  $I_{КЗ}^{max}$  – максимальное значение тока КЗ.

3) номинальный ток плавкой вставки  $I_{вс.ном}$  выбирается из следующих условий:

$$I_{вс.ном} = K_H \cdot I_{дв.ном}, \quad (12.3)$$

где  $K_H = 1,1 \div 1,2$  – коэффициент надёжности;  $I_{дв.ном}$  – номинальный ток двигателя.

или

$$I_{вс.ном} = \frac{I_{пуск}}{K_{пер}}, \quad (12.4)$$

где  $I_{пуск}$  – пусковой ток двигателя;  $K_{пер}$  – коэффициент перегрузки;

$K_{пер} = 1,6 \div 2$  для тяжёлых условий пуска (время пуска более 10 с);

$K_{пер} = 2,5$  для лёгких условий пуска (время пуска менее 10 с).

Номинальный ток двигателя определяется по известной формуле:

$$I_{\text{дв.ном}} = \frac{P_{\text{дв.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_C \cdot \cos \varphi_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}}}, \quad (12.5)$$

где  $P_{\text{дв.ном}}$  – номинальная мощность двигателя;  $\cos \varphi_{\text{ном}}$  – номинальный коэффициент мощности двигателя;  $\eta_{\text{ном}}$  – номинальное значение КПД двигателя.

## 2. Защита автоматами.

Защита автоматами имеет некоторые преимущества перед защитой плавкими предохранителями: возможность быстрого включения после срабатывания, отключение сразу трёх фаз.

Выбор автоматов осуществляется по напряжению:

$$U_{\text{авт.ном}} = U_C, \quad (12.6)$$

где  $U_{\text{авт.ном}}$  – номинальное напряжение автомата.

По предельному допустимому току отключения

$$I_{\text{откл.пред}} \geq I_{\text{КЗ}}^{\text{max}}, \quad (12.7)$$

где  $I_{\text{откл.пред}}$  – предельный отключаемый ток;  $I_{\text{КЗ}}^{\text{max}}$  – максимальный ток КЗ.

Ток уставки автомата рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{с.з.}} = (1,5 \div 1,8) I_{\text{пуск}}. \quad (12.8)$$

Ток уставки теплового расцепителя автомата (магнитного пускателя) отстраивается от номинального тока двигателя:

$$I_{\text{с.расц.}} = (1,1 \div 1,3) I_{\text{дв.ном}}. \quad (12.9)$$

Защита автоматом считается чувствительной, если

$$K_{\text{ч}} \geq \frac{I_{\text{КЗ}}^{(1)}}{I_{\text{с.з.}}} \geq 1,25, \quad (12.10)$$

где  $I_{\text{КЗ}}^{(1)}$  – ток однофазного КЗ на клеммах электродвигателя;  $I_{\text{с.з.}}$  – ток срабатывания защиты;  $K_{\text{ч}}$  – коэффициент чувствительности.

Защита минимального напряжения двигателей коммутируемых магнитными пускателями не требует дополнительных устройств, т.к. магнитные пускатели отключаются сами при исчезновении напряжения.

Двигатели средней мощности имеют в качестве защит от КЗ на зажимах и в начале статорной обмотке токовые отсечки (ТО). ТО – это защита мгновенного действия, поэтому она не должна срабатывать при пуске электродвигателя. Асинхронный двигатель в этом случае напоминает силовой трансформатор:

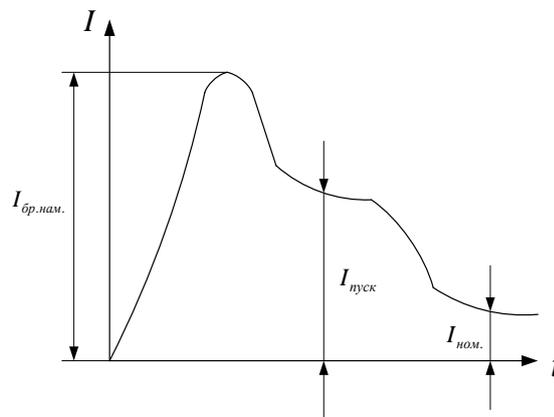


Рис 12.2 Характер изменения тока при пуске (огibaющая)

$$I_{\text{бр.нам.}} \approx (1,6 \div 1,8) I_{\text{пуск}} - \text{бросок тока намагничивания}$$

$$I_{\text{с.з.}} = K_H \cdot I_{\text{пуск}},$$

где  $K_H = 1,6 \div 1,8$  – коэффициент надёжности, который учитывает бросок тока намагничивания.

Чувствительность токовой отсечки оценивается коэффициентом чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ min}}}{I_{\text{с.з.}}},$$

где  $I_{\text{КЗ min}}$  – ток двухфазного КЗ на зажимах двигателя.

Согласно ПУЭ  $K_{\text{ч}} \geq 1,3$ .

Вторая защита электродвигателей средней мощности – это максимальная токовая защита (МТЗ). МТЗ работает как резервная защита при КЗ, но её главное назначение – защита от перегрузки.

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{K_H}{K_B} \cdot I_{\text{ном.дв.}},$$

где  $K_H = 1,05$  – коэффициент надёжности;  $K_B = 0,85$  – коэффициент возврата реле;  $I_{\text{ном.дв.}}$  – номинальный рабочий ток двигателя.

Время срабатывания МТЗ обычно выбирается больше времени пуска электродвигателя  $t_{\text{с.з.}} > t_{\text{пуск}}$ .

Для двигателей средней мощности (до 2000 кВт) наибольшее распространение получила однорелейная схема выполнения на реле РТ - 80. Электромагнитный элемент этого реле настраивается как ТО. Индукционный элемент этого реле может обеспечить защиту от перегрузки (МТЗ). Реле РТ-80 имеет мощные контакты, позволяющие коммутировать ток до 150 А. Если чувствительности защиты по однорелейной схеме недостаточно, применяется двух релейная схема на РТ-40. Как правило, используется наиболее экономичная схема включения реле – «неполный треугольник» (рис.12.3).

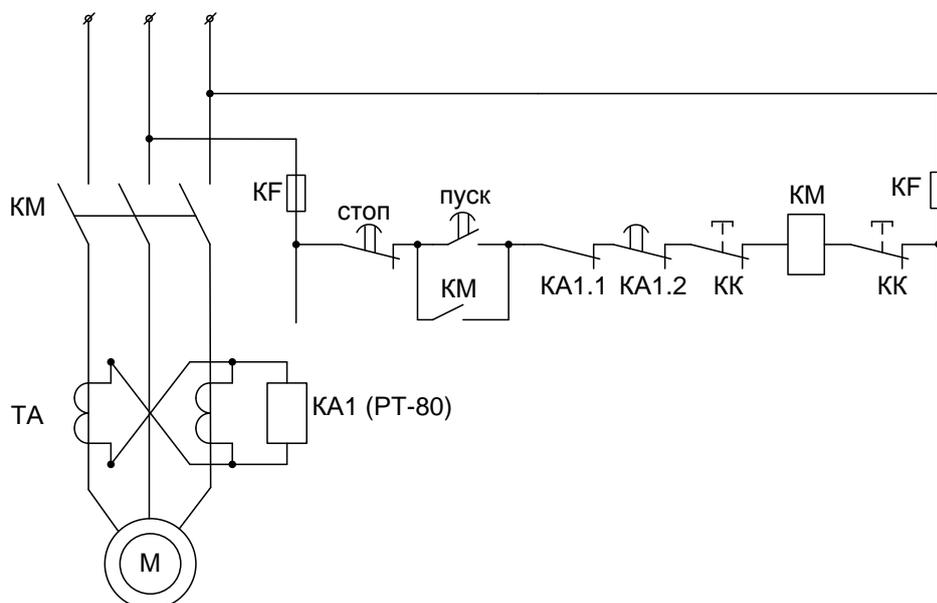


Рис. 12.3. Защита электродвигателей средней мощности

### **Защита электродвигателей высокого напряжения**

Для двигателей напряжением 3, 6, 10 кВ предусматриваются устройства релейной защиты действующей при многофазных КЗ на выводах и в обмотках статора; перегрузках, вызванных технологическими причинами и затянувшимся пуском; при исчезновении или длительном снижении напряжения. В необходимых случаях может устанавливаться защита от однофазных замыканий на землю.

## Тема 2.3. Защиты синхронных генераторов

### *Повреждения и ненормальные режимы в синхронных генераторах*

Как показала практика, при работе синхронного генератора (СГ) могут возникать многофазные КЗ на зажимах и в статорной обмотке. Эти замыкания вызывают очень большие токи, что очень опасно, поскольку горение дуги на месте КЗ не только расплавляет токоведущие части (обмотки), но и может выплавить железо магнитопровода, а это приводит к необходимости переборки всего железа магнитной системы статора, что несёт за собой колоссальные затраты. Поэтому защиты от междуфазных КЗ должны быть идеально быстродействующими.

В СГ с напряжением до 1 кВ, где нейтраль заземлена, часто возникают однофазные КЗ на землю (на корпус). В обмотке ротора (питающейся от источника постоянного тока) могут возникать замыкания на корпус. Замыкание на корпус в одной точке не приводит к катастрофическим последствиям. Замыкание в двух точках – это аварийное состояние. В этом случае часть обмотки оказывается зашунтированной, т.е. выводится из работы:

Синхронные генераторы напряжением выше 1 кВ работают в системах с изолированными нейтралью или с нейтралью, заземлёнными через дугогасящие реакторы. Замыкание фаза-корпус не является КЗ, однако, даже небольшие токи быстро разрушают изоляцию и вызывают появление междуфазных, уже коротких замыканий. Необходимо автоматически отключать повредившуюся синхронную машину, если ток замыкания на землю (на корпус) превышает 5 А. При токах замыкания на землю меньше 5 А допускается действие защиты на сигнал.

Короткое замыкание в статорной обмотке в одной фазе является очень коварным повреждением, т.к. общий ток генератора изменяется незначительно и классические защиты могут не почувствовать это изменение. В турбогенераторах такие замыкания практически невозможны, а в гидрогенераторах предусматривается специальная защита от витковых КЗ.

К ненормальным режимам работы синхронных генераторов прежде всего относятся перегрузки. На генераторах ТЭЦ устанавливается защита от симметричных перегрузок, реагирующая на повышение тока статора и действующая на сигнал. Несимметричные перегрузки могут возникать, например, при неполнофазных режимах каких-либо присоединений или при разрыве фаз без КЗ в энергосистеме. Несимметричные перегрузки характеризуются наличием составляющих обратной последовательности в токах статора. Проходящие в обмотках статора токи обратной последовательности создают магнитное поле, вращающееся по отношению к ротору с удвоенной скоростью, что вызывает нагрев стали ротора, а следовательно, и изоляции его обмотки. Кроме того, наличие этого магнитного поля может вызвать значительную механическую вибрацию машины.

Защита от несимметричных перегрузок генератора должна действовать на его отключение с выдержкой времени.

Особенно большие перегрузки генераторов (как симметричные, так и несимметричные) возникают при внешних КЗ (появление сверхтоков), что вызывает необходимость установки защит от внешних КЗ, действующих с выдержкой времени на отключение генератора (МТЗ от сверхтоков).

Ненормальным режимом работы генераторов является также их работа при повышении напряжения на выводах статорных обмоток. Значительное повышение напряжения на выводах статорных обмоток возможно при внезапном сбросе нагрузки и после отключения с выдержкой времени электрически близких внешних КЗ. Такие режимы характерны в основном для гидрогенераторов, что и вызывает необходимость установки на них максимальной защиты напряжения, действующей при повышении напряжения до 150% номинального и выше на отключение генератора и его развозбуждение с выдержкой времени 0,5 с.

### *Релейная защита синхронных генераторов*

При исполнении защит различают три основных группы генераторов:

1) низковольтные генераторы (до 1 кВ) Это в основном генераторы передвижных установок, они обладают высокой электрической и механической прочностью, поэтому повреждения в них возникают редко; основной защитой таких генераторов от междуфазного КЗ является плавкие предохранители и простейшие автоматы. Но в таких генераторах часто

возникает КЗ на корпус, поэтому существуют специальные защиты (МТЗ<sub>0</sub> или специальные дифференциальные защиты).

- 2) высоковольтные генераторы мощностью до 1 кВА.
- 3) высоковольтные генераторы мощностью более 1 кВА.

## Тема 2.4. Защиты и автоматика специальных электроустановок

### Защита шин и токопроводов

Короткие замыкания на шинах в системе электроснабжения могут возникать из-за загрязнения или повреждения шинных изоляторов, втулок выключателей и измерительных трансформаторов тока, а также при ошибочных действиях персонала с шинными разъединителями. Повреждения на шинах маловероятны. Однако, учитывая весьма тяжелые последствия, к которым эти повреждения могут привести, необходимо иметь защиту, действующую при повреждении шин.

Устройства защиты должны быстро и правильно отключать все короткие замыкания на шинах. Когда короткие замыкания на шинах приёмной подстанции, получающей питание по линии с ответвлениями, отключаются защитой линии, установленной на питающей подстанции, ответвления теряют питание. Поэтому в тех случаях, когда защита питающих элементов не обеспечивает необходимых быстродействия и селективности, предусматриваются специальные защиты шин: токовые, токовые направленные, дистанционные и дифференциальные. Наиболее часто используются дифференциальные защиты. Они обязательны для шин напряжением 110 кВ и выше, но применяются и для шин 35 кВ ответственных понизительных подстанций. Для шин напряжением 6-10 кВ защита выполняется по упрощенным схемам.

Дифференциальная токовая защита шин напряжением 35 кВ и выше электрических станций и подстанций охватывает все элементы, которые присоединены к системе или секции шин (рис. 14.1). Токовое реле подключается во вторичные обмотки трансформаторов тока на сумму всех токов. При этом число трансформаторов тока оказывается значительным и вероятность обрыва их вторичных цепей вероятна. Это учитывается при выборе тока срабатывания защиты по условию:

$$I_{с.з.} = K_H \cdot I_{раб.мах},$$

где  $K_H = 1,2 \div 1,5$  – коэффициент надёжности;  $I_{раб.мах}$  – ток наиболее мощного присоединения.

Как и любая дифференциальная защита, дифференциальная защита шин не должна срабатывать при внешних КЗ. Поэтому при выборе тока срабатывания необходимо учесть второе условие:

$$I_{с.з.} = K_H \cdot I_{нб.расч.мах},$$

где  $I_{нб.расч.мах}$  – максимальный ток небаланса, протекающий по реле при внешнем КЗ.

Часто второе условие является определяющим из-за больших кратностей токов внешних КЗ и значительных апериодических составляющих ( $K_a = 2$ ).

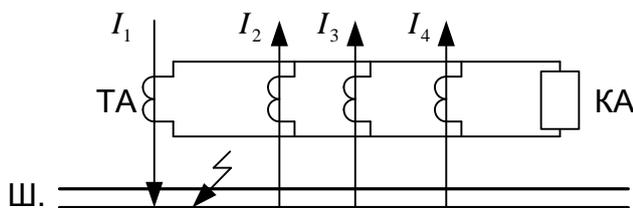


Рис. 14.1. Дифференциальная защита шин в однофазном варианте

Особенности выполнения дифференциальных защит шин определяются схемой первичных соединений и условиями её работы. Например, двойная система шин имеет защиту в виде одного комплекта, если одна из систем шин рабочая, а другая – обходная. Если обе системы шин работают с фиксированным распределением присоединений, то защита

выполняется в виде трёх комплектов, два из которых отдельно защищают первую и вторую системы шин при обычном распределении присоединений, а третий предотвращает неправильную работу первых двух комплектов при внешних коротких замыканиях в случаях вынужденного нарушения фиксации.

Дифференциальная токовая защита шин напряжением 6-10 кВ предусматривается на электрических станциях с генераторами мощностью более 12 МВт. При этом она выполняется по упрощенной схеме. В её цепи тока не включаются трансформаторы тока потребителей электрической энергии. Такая защита называется *неполной дифференциальной токовой*. Она, по существу, является токовой защитой, включенной на геометрическую сумму токов питающих присоединений.

В цехах, заводах часто используются шинопроводы (токопроводы), которые снабжают нагрузку (рис.14.2). Характерной особенностью таких токопроводов является большое сечение и малое сопротивление.

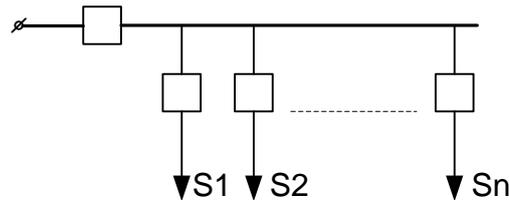


Рис. 14.1. Присоединения нагрузок к токопроводам

Токи КЗ в начале и в конце токопровода приблизительно одинаковы и обеспечить селективность защит представляется сложной задачей. При этом желательно защиты делать быстродействующими, т.к. ток КЗ велик из-за малого сопротивления. Токовые отсечки здесь не работают (токи КЗ одинаковы в начале и в конце токопровода). Если шинопровод менее 500 м, то ПУЭ рекомендует устанавливать МТЗ; от 500 м до 1 км – МТЗ с блокировкой минимального напряжения; более 1 км – дистанционную защиту.

### Раздел 3. Автоматика в системах электроснабжения

#### Тема 3.1. Автоматика повторного включения

##### 1. Назначение и область применения АПВ

Короткие замыкания в электрических сетях при достаточно быстром отключении повреждения способны к самоустранению. Особенно это характерно для воздушных линий электропередачи (ВЛ).

К самоустраняющимся повреждениям относятся КЗ, вызванные перекрытием изоляции при грозовой деятельности, схлёстыванием проводов от ветра и др. При быстром отключении таких повреждений электрическая дуга в месте КЗ гаснет, не успевая вызвать существенных разрушений, препятствующих новому включению ВЛ под напряжение.

Такие самоустраняющиеся повреждения принято называть *неустойчивыми*. Статистика свидетельствует, что доля таких самоустраняющихся повреждений ВЛ весьма велика и составляет 50-90 %.

Поскольку отыскание места повреждения на ВЛ путём её обхода – дело весьма трудоёмкое и длительное, а многие повреждения неустойчивы, дежурному персоналу разрешено опробование ВЛ после их отключения путём нового включения под напряжение. Эту операцию называют *повторным включением*. Линия, на которой произошло неустойчивое повреждение, при повторном включении остается в работе. Такое повторное включение называется *успешным*.

Реже на ВЛ возникают повреждения, связанные с обрывом фаз, тросов, изоляторов, поломкой опор. Такие повреждения при отключении линии самоустраниться не могут. Их называют *устойчивыми*. При повторном включении линии, на которой произошло такое повреждение, снова возникает КЗ и вновь срабатывает релейная защита, отключая линию. Повторные включения при устойчивых повреждениях принято называть *неуспешными*.

Как показала практика, на подстанциях с постоянным обслуживающим персоналом процесс ручного повторного включения занимает несколько минут, а на подстанциях без

постоянного обслуживающего персонала –  $0,5 \div 1$  час. Поэтому для ускорения процесса повторного включения, т.е. уменьшения времени перерыва питания потребителей, широкое распространение получила *автоматика повторного включения* (АПВ). Время действия АПВ обычно не превышает нескольких секунд.

Согласно Правилам устройств электроустановок (ПУЭ) применение АПВ обязательно на всех воздушных и кабельно-воздушных линиях напряжением выше 1 кВ. Кроме этого существуют АПВ шин, трансформаторов, двигателей.

## 2. Классификация устройств АПВ

Устройства АПВ весьма разнообразны, и их можно классифицировать по ряду признаков:

- по быстродействию: быстродействующие АПВ, нормальные АПВ
- по количеству циклов: АПВ однократного и двукратного действия;
- по числу фаз, включаемых при АПВ: трёхфазные АПВ (ТАПВ), однофазные АПВ (ОАПВ);
- по виду включаемого оборудования: АПВ линий, шин, трансформаторов, двигателей;
- по способу воздействия на привод выключателя: механические, встраиваемые в пружинный или грузовой привод, и электрические – релейные.

Особую группу составляют устройства АПВ, действующие после отключения выключателей устройствами автоматической частотной разгрузки и восстановления частоты, – частотные АПВ (ЧАПВ).

### Совместная работа АПВ с релейной защитой

Совместное использование АПВ и РЗ позволяет улучшить свойства релейной защиты, например, обеспечить селективность в неселективных токовых отсечках, сократить время отключения КЗ и тем самым повысить надёжность питания потребителей. Ускорение защиты при работе АПВ применяется в тех случаях, когда защита, обслуживающая объект, не является быстродействующей, например МТЗ. Принципы ускорения защиты могут выполняться в двух вариантах.

#### 1. Ускорение защиты после АПВ

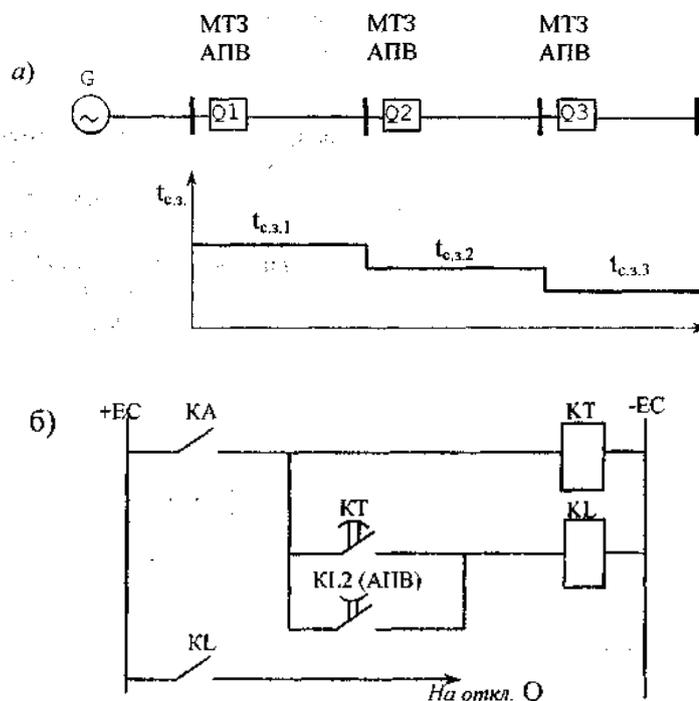


Рис 15.1 Принципы ускорения защиты после АПВ

На рисунке 15.1 а приведена схема участка сети с тремя выключателями, на которых установлены защиты типа МТЗ и АПВ. При КЗ релейная защита с определённой выдержкой времени селективно отключает соответствующий выключатель. Устройство АПВ снова включает линию. При успешном АПВ линия остаётся в работе. В случае неуспешного отключения повреждённый участок должен быть снова отключён и чем быстрее, тем лучше,



недостаток в значительной мере уменьшается в результате применения автоматики включения резервного питания (АВР). Система АВР снижает перерыв питания до нескольких секунд или долей секунд.

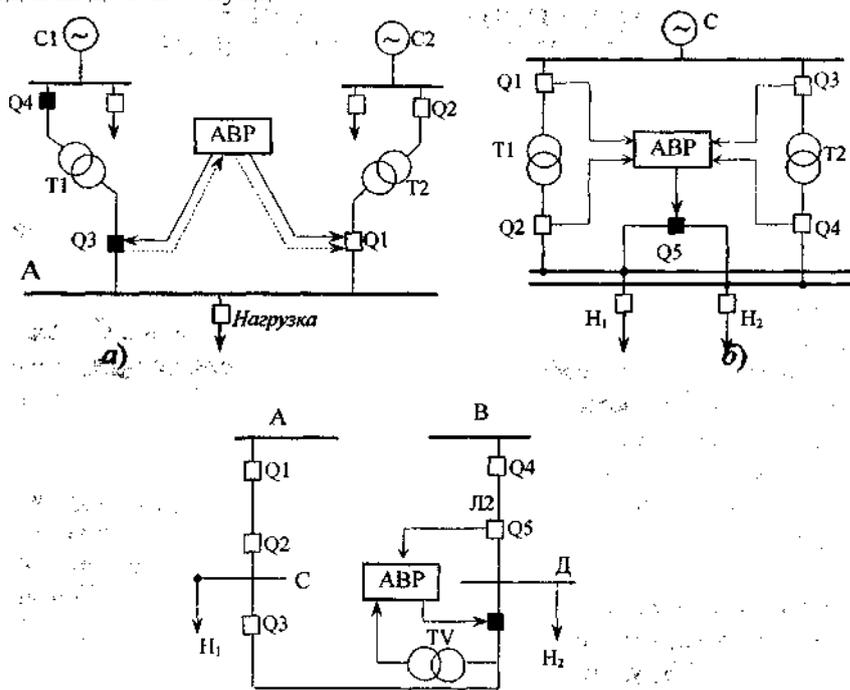


Рис. 15.3.

В соответствии с Правилами устройств электроустановок необходимо предусматривать АВР во всех случаях, когда отключение рабочего источника приводит к полному прекращению электроснабжения или ограничению мощности потребителей. В связи с этим АВР широко применяется на подстанциях основных и распределительных сетей в системах собственных нужд электростанций.

В энергосистемах применяется значительное количество устройств АВР, различающихся в зависимости от напряжения и условий работы.

По типу оборудования, на которое действуют устройства, различают АВР трансформаторов, АВР линий электропередачи, АВР секций шин, АВР агрегатов собственных нужд.

По направленности действия – АВР одностороннего и двухстороннего действия. Если АВР одностороннего действия, то первый источник всегда рабочий, а второй всегда резервный, если двухстороннего, то любой источник может быть как рабочим, так и резервным.

По виду источников оперативного тока различают системы АВР на постоянном и переменном оперативном токе.

По виду резерва, включаемого АВР, различают АВР с явным резервом (рис 15.3 а) и АВР с неявным резервом (рис 15.3 б). Явным резервом считается такой, когда резервный источник находится либо в отключенном состоянии, либо под напряжением, но без нагрузки. Неявный резерв предполагает работу каждого источника на свою нагрузку.

Несмотря на большое разнообразие систем АВР они должны удовлетворять ряду общих требований, которые изложены ниже.

1. Устройства АВР должны приходить в действие при исчезновении напряжения на шинах потребителей от рабочего источника по любой причине.
2. Включение резервного источника питания должно осуществляться только после отключения выключателя рабочего источника, чтобы избежать возможности включения резервного источника на КЗ в цепи рабочего.
3. Действие АВР должно быть однократным, чтобы не допустить нескольких включений резервного источника на КЗ.

4. Выдержка времени от момента отключения рабочего источника до момента включения резервного должна быть минимально возможной.

5. Для ускорения отключения резервного источника при его включении на КЗ, должно быть предусмотрено ускорение защиты резервного источника после АВР. На подстанциях с большим числом электродвигателей и в установках собственных нужд электростанций ускорение РЗ составляет до 0,5 с. Благодаря этому предотвращается возможность ложного срабатывания токовых РЗ под действием толчка тока, обусловленного сдвигом фаз напряжений ЭЭС и затухающей ЭДС тормозящихся электродвигателей.

6. Для обеспечения работы АВР при исчезновении напряжения на шинах необходимо предусмотреть специальный пусковой орган минимального напряжения.

## 2. Пусковые органы устройств АВР

Назначение пусковых органов по напряжению (ПОН) – обеспечить запуск АВР при исчезновении напряжения на шинах от рабочего источника, даже если выключатель рабочего источника включён. Пусковой орган не должен запускать АВР при отсутствии напряжения на резервном источнике и должен обеспечить требуемую выдержку времени на срабатывание АВР.

Данные свойства в полной мере обеспечивает ПОН, приведённый на рис. 15.4.

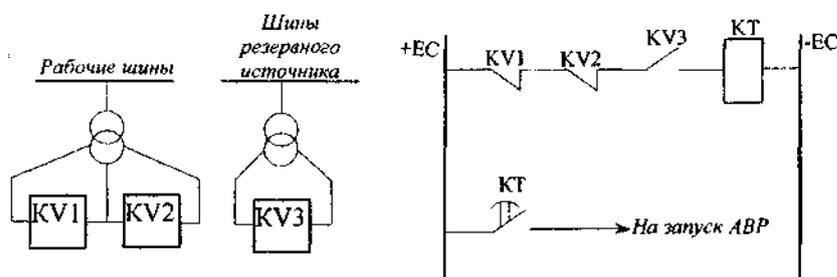


Рис. 15.4. Схема пускового органа АВР

Реле минимального напряжения KV1 и KV2 контролируют напряжение. Для надёжности получения информации об исчезновении напряжения контроль осуществляется на всех фазах. Нормально замкнутые контакты этих реле в схеме оперативных цепей соединены последовательно. Реле максимального напряжения KV3 контролирует наличие напряжения на резервном источнике. При исчезновении напряжения на шинах от рабочего источника и наличии напряжения на резервном создаётся цепь на реле времени КТ. Через выдержку времени, за которое может произойти восстановление питания на рабочих шинах, (например, вследствие успешной работы АПВ), замыкаются контакты реле КТ и создаётся цепь на запуск АВР. Существуют и более сложные ПОН, включающие в себя реле тока, частоты.

### **АВР секционного выключателя**

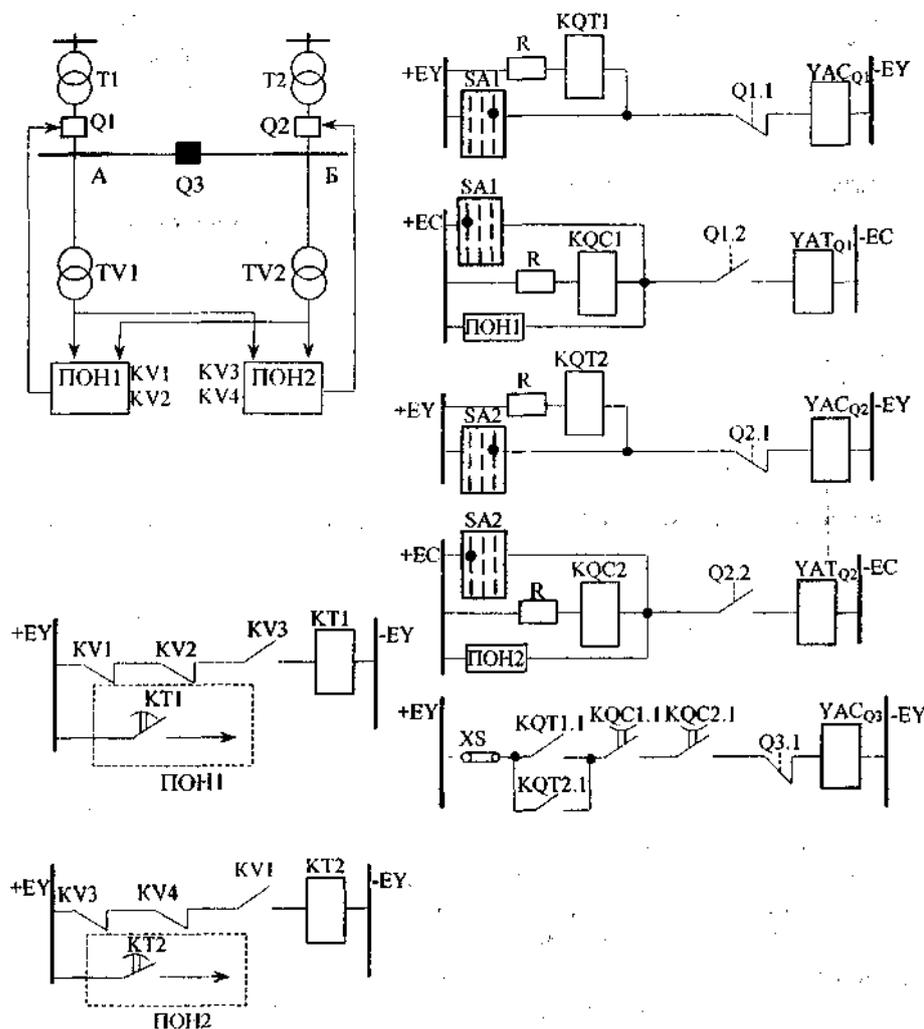
Наиболее распространенными устройствами АВР являются системы, работающие на секционные выключатели, разделяющие силовые трансформаторы, линии, шины. Схема одного из таких устройств приведена на рис. 15.5.

В схеме силовые трансформаторы Т1 и Т2 работают каждый на свои шины (схема неявного резерва), выключатель Q3 отключён. При прекращении питания шин от данного трансформатора включается Q3 и питание обеих шин будет осуществляться от одного трансформатора. Поводом для начала работы АВР может быть отключение по любым причинам выключателя Q1 или Q2 либо исчезновение напряжения на шинах (А или Б). АВР работает совершенно симметрично, т.е. является системой двухстороннего действия.

Исходное состояние схемы: Q1, Q2 – включены, Q3 – отключён, контакты KQC1.1, KQC2.1 – замкнуты, контакты KQT1.1 и KQT2.1 – разомкнуты, блокировки Q1.1, Q2.1 – разомкнуты, Q1.2, Q2.2, Q3.1 – замкнуты. При отключении Q1 (Q2) переключаются механические блокировки этого выключателя: Q1.1 – замыкается, Q1.2 – размыкается. Теряет питание реле KQC1 и получает питание реле KQT1. Замыкаются контакты KQT1.1, а контакты KQC1.1 размыкаются не сразу, т.к. реле KQC имеет выдержку времени на отпадение якоря. Кратковременно составляется цепь на соленоид включения УАС выключателя Q3 («+», XS, контакты KQT1.1, контакты KQC1.1, контакты KQC2.1,

блокконтакты Q3.1, катушка YACq3, «-»). Выключатель Q3 включается. Если выключатель Q3 оказывается включённым на КЗ и РЗ его отключает, второго включения не произойдёт, т.к. контакт KQC1.1 к этому времени окажется разомкнутым. Таким образом обеспечивается однократность действия АВР.

При исчезновении напряжения на шинах А (Б) работает ПОН1 (ПОН2) и обеспечивает



цепь на отключение выключателя Q1. После этого схема работает, как было рассмотрено выше.

Рис. 15.5. Схема устройства АВР секционного выключателя

### Тема 3.3. Автоматическая частотная разгрузка

#### Общие понятия, назначение АЧР

В нормальных режимах работы ЭЭС существует баланс мощностей между генератором системы и её потребителями:

$$\sum P_G = \sum P_H, \quad (16.1)$$

где  $\sum P_G$  – суммарная мощность генераторов, выдаваемая в систему;  $\sum P_H$  – суммарная потребляемая мощность электроприёмников с учётом потерь.

Наличие равенства генерируемых и потребляемых мощностей является необходимым условием существования установившегося режима в системе. При этом частота  $f$  во всех точках энергосистемы одинакова и определяется частотой вращения роторов генераторов:

$$f = \frac{p \cdot n}{60}, \quad (16.2)$$

где  $p$  – число пар полюсов генератора;  $n$  – частота вращения ротора, об/мин.

При нарушении баланса начинает изменяться частота. Чаще всего баланс нарушается за счёт увеличения нагрузки или при отключении источников питания. В этом случае возникает дефицит активной мощности в системе  $\sum P_G - \sum P_D = \Delta P$  и частота начинает уменьшаться. При небольших нарушениях условия баланса (16.1), вызванных изменением нагрузки генераторов или потребителей, соответствие между генерацией и потреблением восстанавливается автоматически при новой частоте. Это происходит за счёт так называемого *регулирующего эффекта нагрузки*, который заключается в свойстве нагрузок уменьшать потребление активной мощности при снижении частоты. Это свойство саморегулирования энергосистем обеспечивает устойчивость их работы. Кроме этого при изменении частоты вступают в действие автоматические регуляторы частоты и активной мощности на электростанциях. Возникший небаланс ликвидируется за счёт имеющегося в энергосистеме резерва генерирующей мощности, и нормальное значение частоты восстанавливается.

Однако некоторые аварии могут привести к возникновению такого дефицита, который не ликвидируется даже при полном использовании вращающегося резерва генерирующей мощности. Тогда частота будет снижаться. Снижение частоты более чем на 1-2 Гц представляет серьёзную опасность и может привести к полному расстройству работы энергосистемы.

Аварийное снижение частоты ограничено условием работы вспомогательного оборудования самих электростанций. Например, на ТЭС существуют различные циркулирующие насосы, отвечающие за работу паровых турбин и при  $f = 45$  Гц производительность этих насосов снижается на 60 ÷ 80 %. Это в свою очередь влечёт за собой резкое снижение вырабатываемой генераторной мощности, а значит и дальнейшее снижение частоты. В результате процесс снижения частоты становится неуправляемым и возникает «лавина частоты» – неуправляемое снижение частоты вплоть до прекращения выдачи мощности турбины. Кроме этого со снижением частоты нагрузка увеличивает потребление реактивной мощности, что приводит к падению напряжения. И при частоте порядка 45 Гц возникает «лавина напряжения», т.е. резкое неуправляемое снижение напряжения.

#### **Основные мероприятия по предотвращению лавины частоты и лавины напряжения:**

- 1) использование вращающихся горячих резервов мощности;
- 2) перевод синхронных генераторов (гидрогенераторов) из режима синхронного компенсатора в нормальный генераторный режим;
- 3) включение в работу резервных генераторов (холодный резерв);
- 4) частичное отключение потребителей.

Наиболее действенным мероприятием является отключение ряда потребителей и в плане времени и в плане быстрого восстановления баланса.

Ручное отключение нагрузок неэффективно в следствии нехватки времени, поэтому этот процесс возложен на автоматику частотной разгрузки (АЧР).

#### **Принципы выполнения АЧР**

По своему назначению устройства АЧР разделяются на 2 основные группы:

АЧР-I - быстродействующая категория разгрузки, предназначенная для предотвращения значительного снижения частоты. Выполняется в виде нескольких очередей, имеющих различные уставки по частоте.

АЧР-II - медленнодействующая разгрузка, предназначенная для подъёма частоты после действия АЧР-I, а также для предотвращения «зависания» частоты на недопустимо низком уровне. Она выполняется в виде нескольких очередей с общей уставкой по частоте, но различными уставками по времени.

Дополнительная - действующая при больших дефицитах мощности разгрузка, предназначенная для ускорения отключения потребителей и увеличения объёма отключаемой нагрузки.

Опыт эксплуатации энергосистем показывает, что снижение частоты ниже 49 Гц означает, что вращающийся резерв ГЭС уже практически полностью исчерпан. Поэтому

верхний уровень уставок по частоте, как АЧР-I, так и АЧР-II, обычно  $48,6 \div 48,8$  Гц. Ниже этого уровня АЧР-I работает с интервалами по частоте  $0,1$  Гц. Минимальный уровень уставок по частоте АЧР-I не ниже  $46,5$  Гц. Начальная уставка по времени АЧР-II  $5 \div 10$  с, конечная уставка АЧР-II  $60 \div 90$  с.

При снижении частоты до общей уставки АЧР-I и АЧР-II (примерно  $48,5$  Гц) начинает работу автоматика разгрузки. По мере снижения частоты срабатывают отдельные очереди категории разгрузки АЧР-I (точки  $1', 2', 3', 4', 5', 6', 7'$ ) рис 16.1. После срабатывания ряда очередей АЧР-I частота устанавливается на некотором уровне  $f_{\min}$ , превышающем минимально допустимый, что и является для АЧР-I конечной целью данной категории разгрузки. Далее вступает в работу категория разгрузки АЧР-II. Через время  $t_{1''}$  – после запуска срабатывает первая очередь АЧР-II, через  $t_{2''}$  – вторая и т.д. (точки  $1'', 2'', 3'', 4'', 5''$ ).

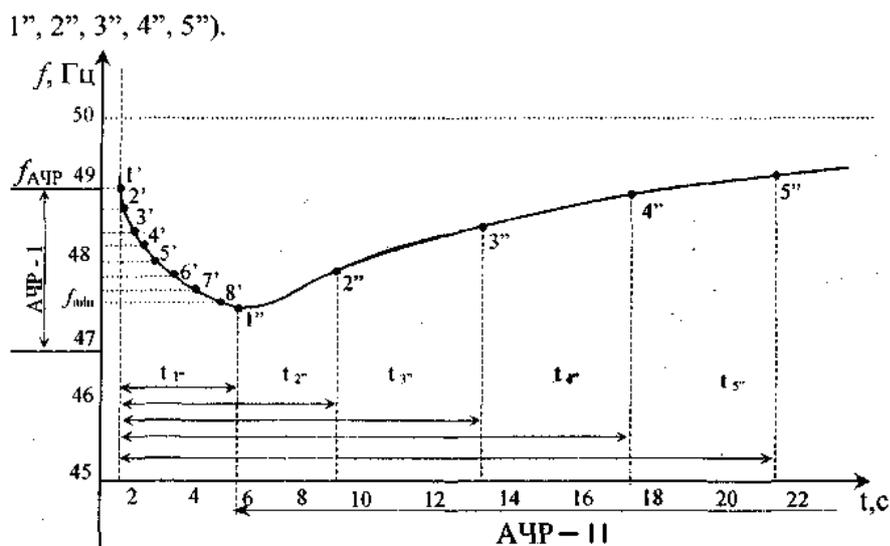


Рис. 16.1. Характер изменения частоты при работе АЧР

Таким образом, по мере аварийного снижения частоты срабатывают устройства АЧР-I со всё более низкими уставками по частоте, а при повышении частоты срабатывают устройства АЧР-II со всё более высокими уставками по времени.

#### **Понятие о частотных АПВ (ЧАПВ)**

После работы АЧР, отключившей часть нагрузок, и восстановления частоты дефицит мощности в системе начинает покрываться за счёт медленно мобилизуемых резервов. Это в первую очередь включение резервных агрегатов ГЭС и т.п. Однако возникает задача по возможности быстро восстановить питание отключённых потребителей. Эту задачу решает ЧАПВ, устанавливаемое на всех объектах, где есть АЧР, и чаще всего используемое для подключения потребителей высокой степени ответственности, отключаемых последними очередями АЧР, для восстановления питания потребителей на подстанциях без дежурного персонала и без телеуправления. Частотное АПВ выполняется несколькими очередями как с единой уставкой по частоте, так и с разными уставками, но при частотах, близких к номинальной ( $49,2 \div 50,0$  Гц).

Минимальная уставка по времени принимается равной  $10 \div 20$  с, максимальная зависит от конкретных условий работы системы и возможности ликвидации дефицита мощности. С учётом возможности развития аварии, повторного снижения частоты ЧАПВ выполняется однократным.

### **Тема 3.4. Автоматика регулирования напряжения**

#### **Регулирование напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой (РПН)**

Современные мощные силовые трансформаторы (автотрансформаторы) с целью поддержания требуемого уровня напряжения оборудуются устройствами переключения ответвлений в обмотках под нагрузкой (УРПН). Весь комплекс устройств регулирования можно подразделить на две основные части:

- 1) система переключения ответвлений трансформатора;
- 2) блок автоматического регулирования коэффициента трансформации (АРКТ).

Первая часть комплекса – это устройство, которое обеспечивает переключение секций обмотки трансформатора и содержит механизм, преобразующий непрерывное вращающее движение в дискретное переключение контактов. Вращающее движение обеспечивает асинхронный двигатель небольшой мощности, который через редуктор связан с кулачковым валом группового переключателя или контроллера. Последовательность переключения контактных элементов этого аппарата обеспечивается их механической связью. Двигатель может управляться вручную от ключа дистанционного управления или автоматически от второго блока.

Второй блок - АРКТ – это, как правило, электронное устройство, формирующее закон управления и дающее команду на двигатель первого блока в зависимости от напряжения и тока нагрузки.

В целом систему УРПН можно представить в виде замкнутой системы автоматического регулирования, функциональная схема которой показана на рис. 17.1.

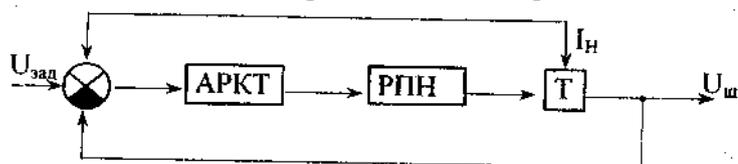


Рис. 17.1. Обобщённая функциональная схема УРПН:  $U_{ш}$  - напряжение на шинах трансформатора;  $I_{н}$  - ток нагрузки;  $U_{зад}$  - заданное значение напряжения

На рис. 17.2 приведена схема управления двигателем М переключающего устройства (контроллера РНТ-13), т.е. схема РПН. Двигателем можно управлять вручную (дистанционно), для этого ключ SA1 должен находиться в положении «Д» («дистанционное»). Управление осуществляется ключом SA2 путём его кратковременного перевода в положение «П» («прибавить») или «У» («убавить»).

Двигатель также может управляться автоматически. Для этого ключ SA1 должен находиться в положении «А» («автоматическое»). Управление осуществляется блоком АРКТ путём замыкания или размыкания контактов KL2.1 и KL3.1, выходных реле АРКТ. Двигатель М питается от трёхфазной цепи (фазы А, В и С) и коммутируется контактами магнитных пускателей KM1 и KM2. При срабатывании KM1 двигатель вращает вал контроллера в сторону снижения напряжения. При срабатывании KM2, двигатель реверсируется и вращает вал в сторону увеличения напряжения. Блокировки контроллера S замыкаются при начале движения; т.е. между фиксированными позициями. При подходе контроллера к фиксированной позиции блокировки S размыкаются. Блокировка SQ1 размыкается на крайней (низкой) позиции контроллера, блокировка SQ2 – на другой крайней (высокой) позиции контроллера, на всех остальных позициях они замкнуты.

Работа РПН при ручном управлении идентична работе при автоматическом, поэтому далее они рассматриваются в комплексе.

При необходимости снизить напряжение ключ SA2 кратковременно поворачивается в положение «У» (в автоматическом режиме замыкаются контакты KL2.1), создаётся цепь на катушку магнитного пускателя KM1. Замыкаются его контакты KM1.2, KM1.3, KM1.4, KM1.5. Двигатель М начинает вращать вал контроллера в сторону снижения напряжения. Как только контроллер сходит с фиксированной позиции, замыкаются блокировки S и магнитный пускатель KM1 становится на самоподпитку, т.е. будет получать питание, даже если ключ SA2 вернётся в нейтральное положение или контакты выходного реле АРКТ KL2.1 разомкнутся. Благодаря этому контроллер дойдёт и остановится точно на следующей фиксированной позиции (S разомкнутся и KM1 потеряет питание).

## Раздел 4. Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем

### Тема 4.1. Управление техническими процессами

Разомкнутые системы в качестве основного способа автоматизации реализуют автоматическое связывание отдельных процессов в составе сложных и используются на низшем уровне иерархии систем управления.

Связь между процессами осуществляется через элементы управления, которые, в свою очередь, создают либо порядково-временную зависимость по моментам начала или окончания равноправных процессов, либо причинную зависимость, при которой один процесс – распорядительный управляет ходом другого процесса – исполнительного.

Автоматизационное связывание получило широкое распространение в системах с дискретным управлением (включено, выключено) или в системах поддержания режимов управляемых процессов, где не требуется высокая точность регулирования. Характерным примером порядково-временного связывания процессов может служить групповой переключатель, обеспечивающий жесткую механическую связь ключей, которые, в свою очередь, создают определенный порядок переключения цепей силового трансформатора при регулировании напряжения под нагрузкой (РПН).

Примером реализации причинной зависимости могут служить *релейное связывание процессов* изменения тока объекта при отключении высоковольтного выключателя – работа релейной защиты (причина).

Наиболее совершенным видом реализации причинной зависимости является функциональное связывание процессов, когда реализуется непрерывная, заранее заданная зависимость между показателями исполнительного и распорядительного процессов  $P_{исп.} = f(P_{расп.})$ . Например, при работе генератора для того чтобы его напряжение оставалось постоянным, ток в обмотке возбуждения должен быть связан с током нагрузки, заранее определенной заданной зависимостью  $I_v = f(I_{нагр.})$  (регулирующая характеристика).

Основным недостатком разомкнутых систем является отсутствие контроля результата.

Более совершенными являются замкнутые системы, или системы с обратными связями, т.е. системы с контролем регулируемых параметров.

Целью автоматического регулирования является поддержание заданного значения определенной физической величины, называемой управляемой или регулируемой величиной – показателем  $X$ .

Объект, одна или несколько физических величин (показателей) которого регулируются, называется объектом регулирования (управления) (О.Р.). При этом, для того, чтобы можно было осуществить управление, объект должен иметь управляющий или регулирующий орган, изменяя состояние которого можно было бы изменять показатели процесса.

Устройство, оказывающее воздействие на регулирующий орган объекта регулирования, т.е. осуществляющее управление, объектом, называется регулятором (Р).

Внешние воздействия, оказывающие отрицательное влияние на регулируемые показатели объекта управления называются возмущениями  $Z$ .

Совокупность объекта управления и регулятора называется системой автоматического регулирования (управления) САР (рис.1.3).

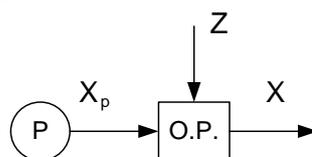


Рис.1.3. Основные элементы системы автоматического управления:

$X$  – регулируемая величина,  $Z$  – возмущение,  $X_p$  – регулирующая величина, О.Р. – объект регулирования, Р – регулятор.

Существует два основных принципа построения систем автоматического регулирования (управления) – по отклонению и по возмущению.

### Принцип регулирования по отклонению регулируемой величины от заданного значения (принцип Ползунова-Уатта)

Предполагается, что этот принцип появился на основе наблюдения за действиями человека, управляющим процессом вручную. Человек смотрит на измерительный прибор, указывающий значение регулируемой величины, мысленно сравнивает это значение с заданным, оценивает отклонение процесса от заданного значения и воздействует на регулирующий орган объекта таким образом, чтобы свести это отклонение к минимуму.

Для графического изображения систем существуют различные типы схем. На рис. 1.4 приведена простейшая схема САР для генератора постоянного тока с целью поддержания постоянства напряжения на его зажимах, реализованная по принципу Ползунова-Уатта.

Предположим, что в результате сброса нагрузки величина напряжения генератора  $U_G$  начала увеличиваться. При этом повышается напряжение с делителя,  $U'$  и возрастает усилие электромагнита,  $F$ . После этого сердечник электромагнита (4) начинает втягиваться вместе с механической тягой (5), связанной с пружиной (3). Движок реостата  $R_d$  (2) перемещается вниз, вследствие чего в цепь возбуждения вводится дополнительное сопротивление. В этом случае ток в ОВ уменьшается, что приводит к уменьшению величины  $U_G$ .

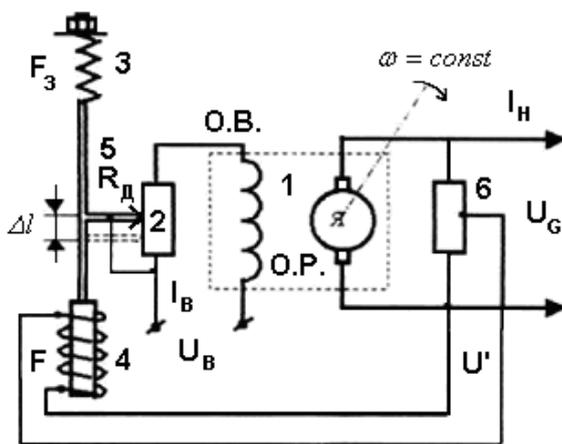


Рис.1.4. САР напряжения генератора, построенная по принципу отклонения:

1 – О.Р. – генератор;  $U_G$  – регулируемая величина; 2 – добавочное регулируемое сопротивление в цепи обмотки возбуждения (О.В.) генератора (исполнительный элемент); 3 – пружина (задающий элемент в системе); 4 – электромагнит (преобразовательный элемент); 5 – механическая связь, выполняющая роль элемента сравнения заданного и действительного значений регулируемого показателя; 6 – измерительное устройство (потенциометр)

Таким образом, система работает по принципу сравнения заданного значения напряжения генератора, мерой которого является усилие механическое пружины  $F_3 \equiv U_{G \text{ зад}}$  и действительного значения напряжения, мерой которого является усилие электромагнита  $F \equiv U_G$ . В результате сравнения вырабатывается такое управляющее воздействие (изменение положения движка  $R_d$  и тока возбуждения  $I_B$ ), чтобы отклонение величины  $U_G$  от  $U_{G \text{ зад}}$  свести к минимуму.

В ряде расчетов для более наглядного восприятия нашли применение так называемые функциональные схемы. В них элементы изображаются в виде прямоугольников. Разделение на элементы в этих схемах осуществляется по их функции, отсюда и названия схем. Функции элементов могут быть самыми разнообразными: объект управления, исполнительный элемент, датчик, усилитель, стабилизатор, преобразователь и т.д.

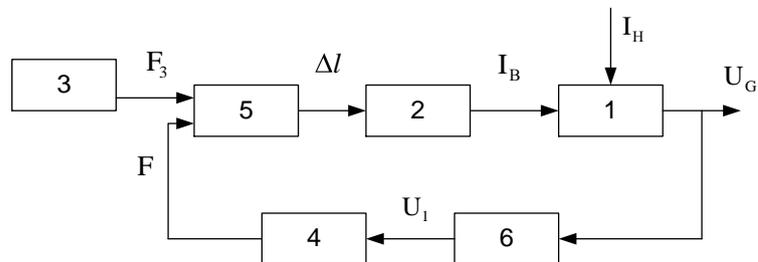


Рис. 1.5. Функциональная схема САР, построенная по принципу отклонения

Объединяя характерные элементы, можно изобразить обобщённую функциональную схему САР (рис. 1.5), построенную по принципу Ползунова-Уатта, т.е. по принципу отклонения регулируемой величины от заданного значения. Из рис.1.5 видно, что такая схема представляет собой замкнутую систему, т.е. систему с обратной связью по регулируемой величине  $X$ . При этом, поскольку основной операцией в данной системе является сравнение заданного и действительного значений регулируемой величины, эта обратная связь всегда *отрицательна*.

Достоинством принципа регулирования по отклонению является его универсальность, т.е. система, построенная по этому принципу выполняет свои функции, при всех возможных возмущениях на О.Р.. Недостатком же является то, что в системе, как правило, имеет место отклонение действительной величины от заданной, т.е. определенная ошибка, которая и является движущей силой в работе системы, т.е. как бы реализуется известная философская категория: точность достигается в результате наличия неточности (ошибки).

#### Принцип регулирования по возмущению (принцип Понселе)

Второй принцип построения САР (его еще называют автокомпенсацией) заключается в том, что регулятор в системе реагирует на величину возмущения, действующего на О.Р. и вырабатывает такое управляющее воздействие, чтобы скомпенсировать действие этого возмущения. Например, применительно к генератору постоянного тока основным возмущением можно считать изменение тока нагрузки.

Компенсацию влияния тока нагрузки на напряжение генератора можно получить введением дополнительной последовательной обмотки возбуждения, включенной в цепь тока нагрузки – способ компаундного возбуждения. Последовательная обмотка такого компаундного возбуждения, подключенная согласно с независимой обмоткой, при увеличении тока нагрузки будет обеспечивать увеличение общего потока возбуждения машины, т.е. компенсировать увеличение реакции якоря и падения напряжения на нем. В результате этого, при соответствующем подборе числа витков последовательной обмотки, напряжение генератора будет оставаться постоянным (рис. 1.6).

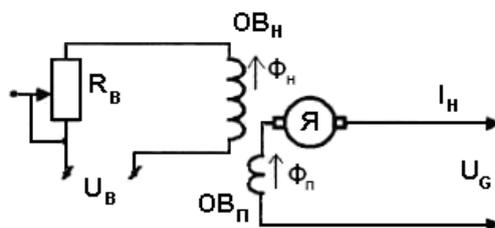


Рис.1.6. Схема генератора с компаундной обмоткой возбуждения

Следует отметить, что принцип регулирования по возмущению дает хорошие результаты в тех случаях, когда на О.Р. действует одно мощное возмущение, а остальные малы и ими можно пренебречь. В этом случае системы, как видно из приведенного примера, получаются простыми и эффективными.

Если же на О.Р. действуют несколько равноценных возмущений, то, скомпенсировав одно из них, мы не получим необходимой эффективности в работе системы. Если же построить систему с компенсацией всех возмущений, то она может оказаться весьма сложной и громоздкой. Иными словами, рассмотренный принцип не является универсальным.

Обобщенная функциональная схема системы, построенной по принципу регулирования по возмущению, приведена на рис. 1.7.

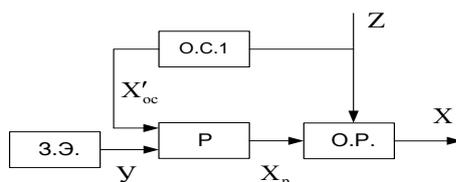


Рис. 1.7. Функциональная схема системы, построенной по принципу возмущения: О.С.1 – компенсирующая обратная связь по возмущению;  $X'_{oc}$  – сигнал обратной связи по возмущению

Наиболее совершенные системы – системы *комбинированного регулирования*, используют сразу оба принципа: и по отклонению, и по возмущению. Функциональная схема такой системы приведена на рис. 1.8.

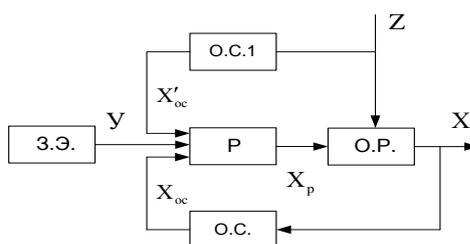


Рис. 1.8. Функциональная схема системы комбинированного регулирования

## Тема 4.2. Классификация систем автоматического управления

САУ можно классифицировать по различным признакам, а именно:

### 1. По закону воспроизведения регулируемой (выходной) величины:

- стабилизирующая автоматическая система, когда значение выходной величины поддерживается неизменным ( $X=const$ ), именно такие системы называют системами автоматического регулирования;
- программные системы, когда регулируемая величина поддерживается по определенному, априори заданному закону во времени;
- следящие системы, когда регулируемая величина поддерживается по закону неизвестному априори, определяемому каким-либо распорядительным процессом;
- самонастраивающиеся системы, в которых программа может изменяться в зависимости от внешних условий;
- системы оптимального и экстремального регулирования, когда выходная величина поддерживается на возможном максимуме, минимуме или на наиболее выгодном в каком-либо отношении уровне.

### 2. По характеру воздействия регулятора на объект регулирования:

- системы непрерывного типа, в которых регулирующее воздействие  $X_p$  изменяется непрерывно во времени;
- системы импульсного типа, в которых регулирующее воздействие  $X_p$  импульсного типа с изменяющейся амплитудой или длительностью импульсов;
- системы релейного типа, в которых в качестве исполнительного устройства в регуляторе используется элемент с релейной характеристикой.

### 3. По характеру регулируемой величины:

- напряжения;
- тока;
- уровня;
- температуры и т.д.

### 4. По виду уравнений системы:

- линейные;

- нелинейные.

**5. По количеству регулируемых величин:**

- одномерные (регулируется одна величина);
- многомерные (регулируется несколько величин).

**6. По типу элементов в системе:**

- статические (все элементы статические);
- астатические (имеется хотя бы один астатический элемент в составе регулятора).

**Тема 4.3. Классификация автоматики электроэнергетических систем**

Развитие технических средств автоматического управления обуславливают такие особенности процесса функционирования систем электроснабжения, как соблюдение в каждый момент времени баланса активной и реактивной мощности, время от времени возникающие короткие замыкания, высокая быстротечность электромагнитных и электромеханических переходных процессов. Причём под автоматическим понимается управление процессом производства, передачи и потребления электроэнергии без непосредственного участия человека.

Технические средства автоматического управления процессом производства и передачи электроэнергии (процессом функционирования систем электроснабжения) делятся на автоматику управления нормальными режимами работы ЭЭС и автоматические устройства противоаварийного управления – противоаварийную автоматику (таблица 1).

Таблица 1

Автоматика электроэнергетических систем

Назначение автоматики	Вид автоматики	
	Автоматика нормального режима	Противоаварийная автоматика
1. Станционная	Автоматика пуска и синхронизации генераторов электростанции, АРВ, АРЧВ, АРМ, устройства ГРАМ и ГРАРМ	Автоматические устройства форсировки возбуждения генераторов, АОСЧ, АОПЧ
2. Сетевая	Автоматические устройства регулирования напряжения у трансформаторов (УРПН, АРКТ) и потребителей электроэнергии с помощью ИРМ	АПВ, АВР
3. Системная	АРЧМ	АЧР, АЛАР, АПНУ

В таблице 1 использованы следующие сокращения: АРВ – автоматика регулирования возбуждения; АРЧВ – автоматика регулирования частоты вращения; АРМ – автоматика регулирования активной мощности; ГРАМ – групповой регулятор активной мощности; ГРАРМ – групповой регулятор активной и реактивной мощности; УРПН – устройство регулирования под нагрузкой; АРКТ – автоматический регулятор коэффициента трансформации; ИРМ – источник реактивной мощности; АОСЧ – автоматика ограничения снижения частоты; АОПЧ – автоматика ограничения повышения частоты; АПВ – автоматика повторного включения; АВР – автоматика включения резерва; АЧР – автоматическая частотная разгрузка; АЛАР – автоматика ликвидации асинхронного режима; АПНУ – автоматика предотвращения нарушения устойчивости.

Назначением автоматики нормального режима работы ЭЭС является:

- 1) обеспечение требуемой надёжности функционирования ЭЭС;
- 2) обеспечение статической устойчивости ЭЭС;
- 3) обеспечение требуемых показателей качества электроэнергии.

Назначением противоаварийной автоматики является решение острой и специфической проблемы современных ЭЭС – обеспечение совместного функционирования (синхронной

устойчивости) множества мощных электростанций, связанных длинными и сильно нагруженными линиями электропередачи в условиях больших возмущающих воздействий в виде неизбежных КЗ и связанных с ними отключений мощных электроэнергетических объектов, обуславливающих скачкообразные изменения генерируемых, передаваемых и предельных (по устойчивости) мощностей.

Назначением технических средств противоаварийной автоматики также является предотвращение возникновения и развития аварийных процессов в энергосистеме и ускорение восстановления нормальных режимов.

Прежде всего, действует автоматика повторного (АПВ) и резервного (АВР) включения отключенных РЗ выключателей.

При устойчивых КЗ и повторных отключениях РЗ повреждённых электроэнергетических объектов появляется небаланс мощностей и, как следствие, возникает опасность нарушения синхронной устойчивости ЭЭС. В этом случае вступает в действие общесистемная противоаварийная автоматика, основной задачей которой является недопущение нарушения динамической или статической устойчивости или сохранение результирующей (после кратковременного асинхронного режима) устойчивости функционирования ЭЭС. Общесистемная противоаварийная автоматика состоит из рассредоточенных по электроэнергетическим системам комплексов автоматических устройств, таких как автоматика предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ) и устройства автоматики ликвидации асинхронного режима работы (АЛАР).

### 4.3. Лабораторные работы

Учебным планом не предусмотрено.

### 4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование тем практических занятий</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1.	Датчики, применяемые в релейной защите	2	работа с малой группой (2 часа)
2	1.	Токовые отсечки	2	-
3	1.	Максимальные токовые защиты	4	-
4	2.	Защиты силовых трансформаторов	6	-
5	2.	Защиты электродвигателей	4	-
6	3.	Автоматика повторного включения	4	работа с малой группой (1 час)
7	3.	Автоматика включения резервного питания и оборудования	4	работа с малой группой (1 час)
8	4.	Автоматическая частотная разгрузка	8	работа с малой группой (1 час)
<b>ИТОГО</b>			<b>34</b>	<b>5</b>

### 4.5. Контрольные мероприятия: контрольная работа

Цель: формирование навыков проектирования и расчета современных систем защиты и автоматики.

Структура: введение, защита ЛЭП, защита трансформаторов, АПВ и АВР, заключение.

Основная тематика: Выбор типа защит в соответствии со схемой электроснабжения предприятия; расчет параметров защит; оценка чувствительности; разработка схем защит.

Рекомендуемый объем: Пояснительная записка объемом 15 - 20 страниц должна содержать титульный лист, задание, описание выполняемых действий по каждому разделу и полученные результаты.

Выдача задания и прием контрольной работы проводится в соответствии с календарным учебным графиком.

<b>Оценка</b>	<b>Критерии оценки контрольной работы</b>
<b>зачтено</b>	Во время защиты контрольной работы студент демонстрирует знание основных определений и продемонстрировал умение использовать методы расчета уставок релейной защиты, владение достаточным уровнем понимания материала, и способностью самостоятельно высказать мысль на научно-техническом языке.
<b>не зачтено</b>	Во время защиты контрольной работы студент показал слабое понимание теоретического материала и навыков владения практическими приемами расчета уставок релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем.

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>		<i>Σ комп.</i>	<i>t<sub>ср</sub>, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
			<i>ОПК</i>	<i>ПК</i>				
			<i>3</i>	<i>6</i>				
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	
<b>1.</b> Элементы релейной защиты и автоматики. Защиты линий и сетей		39	+	+	2	19,5	Лк, ПЗ, СРС	Зачет
<b>2.</b> Защиты машин и аппаратов		36	+	+	2	18	Лк, ПЗ, СРС	Зачет, кр
<b>3.</b> Автоматика в системах электроснабжения		14	+	+	2	7	Лк, ПЗ, СРС	Зачет, кр
<b>4.</b> Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем		19	+	+	2	9,5	Лк, ПЗ, СРС	Зачет, кр
<b><i>Всего часов</i></b>		<b>108</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>2</b>	<b>54</b>		

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов / В.А. Андреев – 4-е перераб. и доп.изд. – М.: Высш.шк., 2006.- 639 с.;
2. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.;
3. Курбацкий, В.Г. Автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие / В.Г. Курбацкий, В.А. Попик. – Братск: БрГТУ, 2004. -188 с.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид занятия (Лк, ЛР, ПЗ, кр)	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
1	2	3	4	5
<b>Основная литература</b>				
1.	Попик, В.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.	Лк, ПЗ	63	1
2.	Моделирование в электроэнергетике : учебное пособие / А. Ф. Шаталов, И. Н. Воротников, М. А. Мастепаненко и др. - Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2014.- 140 с. [Электронный ресурс]. – URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&amp;book_id=277510">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&amp;book_id=277510</a>	Лк	1 (ЭУ)	1
<b>Дополнительная литература</b>				
3.	Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов / В.А. Андреев – 4-е перераб. и доп.изд. – М.: Высш.шк., 2006.- 639 с.	Лк, ПЗ	20	1
4.	Попик, В.А. Релейная защита и автоматика электрических систем: учеб. Пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. – 56 с.	ПЗ	81	1

## 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ [http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).
2. Электронная библиотека БрГУ <http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» <http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ) <https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ <http://xn--90ax2c.xn--plai/how-to-search/> .

## **9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ**

#### **Практическое занятие №1 Датчики, применяемые в релейной защите**

##### Цель работы:

Изучение конструкций и принципов действия датчиков, применяемых в релейной защите.

##### Задание:

1. Определить понятие «датчик».
2. Изучить конструкцию, принцип действия и характеристики трансформатора тока.
3. Изучить конструкцию, принцип действия и характеристики трансреактора.
4. Изучить конструкцию, принцип действия и характеристики трансформатора напряжения.
5. Изучить конструкцию, принцип действия и характеристики делителей напряжения.
6. Изучить конструкцию, принцип действия и характеристики токовых шунтов.

##### Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Проанализировать различные конструкции и характеристики датчиков, применяемых в релейной защите. Дать общую характеристику.
3. Сделать выводы по работе.

##### Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Теоретические сведения о датчиках, применяемых в релейной защите;
2. Анализ конструкций и характеристик трансформаторов тока и напряжения, трансреактора, делителя напряжения и токового шунта;
3. Вывод и анализ полученных результатов.

##### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

##### Основная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.

##### Дополнительная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика электрических систем: учеб. Пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. – 56 с.
2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для ВУЗов – 4-е перераб. и доп.изд. – М.: Высш.шк., 2006.- 639 с.

##### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Устройство, принцип работы, режимы работы трансформаторов тока.
2. Устройство, принцип работы, режимы работы трансреактора.
3. Устройство, принцип работы, режимы работы трансформаторов напряжения.
4. Устройство и принцип работы делителя напряжения и токового шунта.

#### **Практическое занятие №2 Токовые отсечки**

##### Цель работы:

Изучение принцип работы и способ обеспечения селективности токовых отсечек.

##### Задание:

1. Изучить принцип действия и настройки токовой отсечки мгновенного действия.
2. Изучить принцип действия и настройки токовой отсечки нулевой последовательности.
3. Изучить принцип действия и настройки неселективной токовой отсечки.
4. Изучить принцип действия и настройки токовой отсечки с выдержкой времени.

#### Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Рассмотреть измерительную, оперативную и функциональную схемы токовой отсечки.
3. Рассмотреть принцип действия и настройки токовой отсечки мгновенного действия.
4. Рассмотреть принцип действия и настройки токовой отсечки нулевой последовательности.
5. Рассмотреть принцип настройки неселективной токовой отсечки.
6. Рассмотреть принцип настройки токовой отсечки с выдержкой времени.

#### Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Теоретические сведения о токовых защитах;
2. Измерительная, оперативная и функциональная схемы токовой отсечки;
3. Описание принципов действия и настройки токовой отсечки мгновенного действия;
4. Описание принципов действия и настройки токовой отсечки нулевой последовательности;
5. Описание принципов настройки неселективной токовой отсечки;
6. Описание принципов настройки токовой отсечки с выдержкой времени;
7. Вывод и анализ полученных результатов.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

#### Основная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.

#### Дополнительная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика электрических систем: учеб. Пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. – 56 с.

2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для ВУЗов – 4-е перераб. и доп.изд. – М.: Высш.шк., 2006.- 639 с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принцип действия токовых защит.
2. Мгновенные токовые отсечки, расчёт параметров, схемы.
4. Токовые отсечки нулевой последовательности, включение реле, настройка.
5. Настройка неселективной токовой отсечки.
7. Настройка токовой отсечки с выдержкой времени.

### **Практическое занятие №3** **Максимальные токовые защиты**

#### Цель работы:

Изучение принцип работы и способ обеспечения селективности максимальной токовой защиты.

#### Задание:

1. Изучить принцип действия и настройки максимальной токовой защиты.
2. Изучить способы проверки чувствительности максимальной токовой защиты.
3. Изучить принцип действия и настройки максимальной токовой защиты нулевой последовательности.
4. Изучить диаграммы селективности двухступенчатых и трехступенчатых токовых защит.

#### Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Рассмотреть принцип действия и настройки максимальной токовой защиты.
3. Рассмотреть измерительную, оперативную и функциональную схемы максимальной токовой защиты.
4. Рассмотреть принцип действия и настройки максимальной токовой защиты нулевой последовательности.
5. Рассмотреть измерительную, оперативную и функциональную схемы максимальной токовой защиты нулевой последовательности.

6. Рассмотреть схемы и принципы обеспечения селективности двухступенчатых и трехступенчатых токовых защит.

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Теоретические сведения о максимальных токовых защитах;
2. Измерительная, оперативная и функциональная схемы максимальной токовой защиты;
3. Описание принципов действия и настройки максимальной токовой защиты;
4. Описание принципов действия и настройки максимальной токовой защиты нулевой последовательности;
5. Измерительная, оперативная и функциональная схемы максимальной токовой защиты нулевой последовательности;
6. Диаграммы селективности двухступенчатых и трехступенчатых токовых защит;
7. Вывод и анализ полученных результатов.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

**Основная литература**

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.

**Дополнительная литература**

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика электрических систем: учеб. Пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. – 56 с.

2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для ВУЗов – 4-е перераб. и доп.изд. – М.: Высш.шк., 2006.- 639 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Принципы обеспечения селективности МТЗ, настройка, проверка чувствительности.
2. Схемы МТЗ.
3. Максимальная токовая защита нулевой последовательности. Назначение, параметры настройки.
4. Двух и трёхступенчатые токовые защиты, схемы.

**Практическое занятие №4**  
**Защиты силовых трансформаторов**

Цель работы:

Изучение принцип работы и способов обеспечения селективности защит силовых трансформаторов.

Задание:

1. Изучить возможные повреждения и ненормальные режимы работы силовых трансформаторов.
2. Изучить принцип действия и настройки токовых защит силовых трансформаторов.
3. Изучить принцип действия и настройки продольной дифференциальной защиты силовых трансформаторов.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Рассмотреть повреждения и ненормальные режимы работы силовых трансформаторов.
3. Рассмотреть принцип действия и настройки токовой отсечки, максимальной токовой защиты, защиты нулевой последовательности силового трансформатора.
4. Рассмотреть измерительную, оперативную и функциональную схемы токовых защит силового трансформатора.
5. Рассмотреть принцип действия и настройки продольной дифференциальной защиты силовых трансформаторов.

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Теоретические сведения о защитах силовых трансформаторов;

2. Измерительная, оперативная и функциональная схемы токовых защит силовых трансформаторов;
3. Описание принципов действия и настройки токовых защит силовых трансформаторов;
4. Описание принципов действия и настройки продольной дифференциальной защиты силовых трансформаторов;
5. Вывод и анализ полученных результатов.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.

Дополнительная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика электрических систем: учеб. Пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. – 56 с.

2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для ВУЗов – 4-е перераб. и доп.изд. – М.: Высш.шк., 2006.- 639 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Типы защит силовых трансформаторов.
2. Настройка токовых защит трансформаторов.
3. Принцип дифференциальной защиты трансформатора и особенности его реализации.
4. Факторы, учитываемые при настройке дифференциальной защиты трансформатора.

**Практическое занятие №5**  
**Защиты электродвигателей**

Цель работы:

Изучение принцип работы и способов обеспечения селективности защит электродвигателей.

Задание:

1. Изучить возможные повреждения и ненормальные режимы работы электродвигателей.
2. Изучить принцип действия и настройки защит низковольтных электродвигателей.
3. Изучить принцип действия и настройки защит электродвигателей высокого напряжения.
4. Рассмотреть особенности защит синхронных электродвигателей.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Рассмотреть повреждения и ненормальные режимы работы электродвигателей.
3. Рассмотреть принцип действия и настройки защит низковольтных электродвигателей.
4. Рассмотреть измерительную и оперативную схемы токовых защит низковольтных электродвигателей.
5. Рассмотреть принцип действия и настройки защит электродвигателей высокого напряжения.
6. Рассмотреть измерительную и оперативную схемы защит электродвигателей высокого напряжения.

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Теоретические сведения о защитах электродвигателей;
2. Измерительная и оперативная схемы токовых защит низковольтных электродвигателей;
3. Измерительная и оперативная схемы защит электродвигателей высокого напряжения;
4. Вывод и анализ полученных результатов.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.

Дополнительная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика электрических систем: учеб. Пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. – 56 с.

2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для ВУЗов – 4-е перераб. и доп.изд. – М.: Высш.шк., 2006.- 639 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Обзор защит электродвигателей.
2. Защиты низковольтных двигателей, принципы настройки, схемы.
3. Защиты высоковольтных двигателей, настройка, схемы.
4. Особенности защиты синхронных двигателей.

**Практическое занятие №6**  
**Автоматика повторного включения**

Цель работы:

Изучение принципа работы, назначения и оперативных схем автоматики повторного включения.

Задание:

1. Рассмотреть назначение и классификацию АПВ.
2. Изучить схему АПВ однократного действия с запуском от несоответствия положения ключа управления и выключателя.
3. Изучить схему электрического АПВ для подстанций с телеуправлением (ТУ).
4. Изучить совместную работу АПВ и релейной защиты.

Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Рассмотреть назначение и классификацию АПВ.
3. Рассмотреть схему АПВ однократного действия с запуском от несоответствия положения ключа управления и выключателя.
4. Рассмотреть схему электрического АПВ для подстанций с телеуправлением (ТУ).
5. Рассмотреть совместную работу АПВ и релейной защиты.

Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Теоретические сведения об автоматике повторного включения;
2. Схема АПВ однократного действия с запуском от несоответствия положения ключа управления и выключателя с описанием её работы;
3. Схема электрического АПВ для подстанций с телеуправлением (ТУ) с описанием её работы;
4. Схемы и описание совместной работы АПВ и релейной защиты;
5. Вывод и анализ полученных результатов.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

Основная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.

Дополнительная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика электрических систем: учеб. Пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. – 56 с.

2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для ВУЗов – 4-е перераб. и доп.изд. – М.: Высш.шк., 2006.- 639 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Виды автоматики и её назначение.
2. Назначение и классификация АПВ.
3. Совместная работа АПВ и релейной защиты.

### **Практическое занятие №7**

#### **Автоматика включения резервного питания и оборудования**

##### Цель работы:

Изучение принципа работы, назначения и оперативных схем автоматики включения резервного питания.

##### Задание:

1. Рассмотреть назначение и общие принципы АВР.
2. Изучить пусковые органы устройств АВР.
3. Изучить схему АВР секционного выключателя.
4. Изучить расчет уставок АВР.

##### Порядок выполнения:

1. Изучить теоретический материал.
2. Рассмотреть назначение и классификацию АВР.
3. Рассмотреть схему АВР секционного выключателя.
4. Выполнить расчет уставок АВР.

##### Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Теоретические сведения об автоматике включения резервного питания и оборудования;
2. Схема АВР секционного выключателя с описанием её работы;
3. Расчет уставок АВР;
4. Вывод и анализ полученных результатов.

##### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

##### Основная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.

##### Дополнительная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика электрических систем: учеб. Пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. – 56 с.

2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для ВУЗов – 4-е перераб. и доп.изд. – М.: Высш.шк., 2006.- 639 с.

##### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Общие принципы АВР.
2. Классификация АВР.
3. АВР секционного выключателя, работа схемы.

### **Практическое занятие №8**

#### **Автоматическая частотная разгрузка**

##### Цель работы:

Знакомство с устройством, принципом действия схем автоматической частотной разгрузки (АЧР) первой и второй категорий с последующим частотным автоматическим повторным включением (ЧАПВ).

##### Задание:

С помощью лабораторной установки моделируется система автоматической частотной разгрузки, составными частями которой являются: оперативные цепи и модель источника питания (генератор), выполненная на базе мотор-генераторной установки. В качестве генератора выступает синхронный двигатель небольшой мощности, а в качестве первичного двигателя (турбины) – двигатель постоянного тока независимого возбуждения. Необходимо выполнить исследование работы АЧР с последующим ЧАПВ в соответствии с порядком, указанным ниже.

В лабораторном стенде смонтирована схема АЧР и ЧАПВ имеющая значительную специфику, диктуемую лабораторной установкой и элементами модели, поэтому в руководстве для изучения даётся схема с одной ступенью отключения (а затем повторного включения) нагрузки (рис.3.1).

Схема работает как АЧР-I, если накладка XS – замкнута и как АЧР-II, если эта накладка разомкнута. В качестве реле времени используется программное реле с микродвигателем (КТ). Контакту КТ1 задаётся выдержка времени АЧР-II, контакту КТ2 – выдержка времени ЧАПВ. При разомкнутом контакте KL1.5 реле частоты KF настроено на уставку срабатывания при понижении частоты. При замкнутом контакте KL1.5 реле настроено на уставку возврата (близкую к 50 Гц) при повышении частоты.

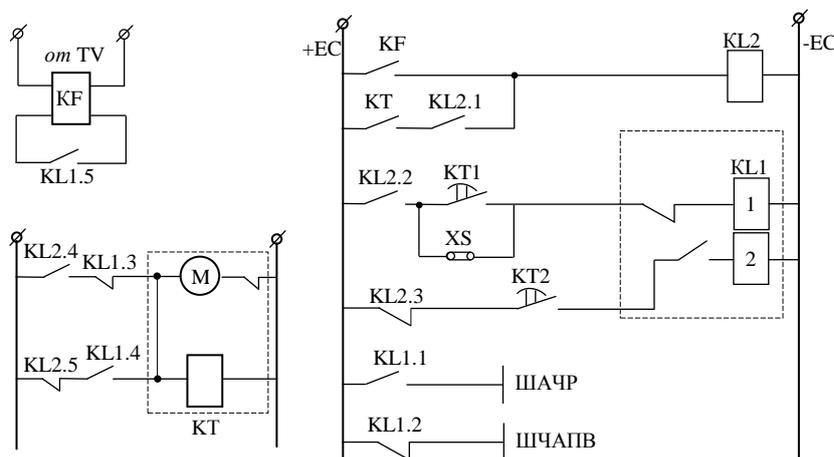


Рис.3.1. Схемы АЧР и ЧАПВ

#### Порядок выполнения:

1. Внимательно изучить оперативную схему автоматической частотой разгрузки АЧР с последующим ЧАПВ.
2. Настроить реле частоты на срабатывание при  $47 \div 47,5$  Гц и на возврат  $49,5 \div 50$  Гц.
3. Установить все коммутационные и регулировочные устройства стенда в исходные положения: ЛАТР перевести в начальное положение путём вращения рукоятки, против часовой стрелки, до упора; переключатель SA1 должен находиться в положении O1; тумблер SA2 переключить в верхнее положение, что будет соответствовать работе схемы в режиме АЧР1 и о чём будет свидетельствовать загорание красной сигнальной лампы над тумблером после подачи на схему оперативного тока; переключить тумблер SA3 в нижнее положение; убедиться, что тумблер SB находится в нижнем положении.
4. Включить автоматический выключатель, находящийся на стене лаборатории, при этом должна загореться сигнальная лампа зелёного цвета с маркировкой «СЕТЬ».
5. Включить источник оперативного тока путём нажатия кнопки «ВКЛ.» с маркировкой «СТЕНД». О включении источника оперативного тока будет свидетельствовать загорание большой сигнальной лампы красного цвета с маркировкой «СТЕНД».
6. Подать оперативный ток на оперативную схему путём перевода тумблера SB в верхнее положение.
7. Включить генератор без нагрузки путём нажатия кнопки «ВКЛ.» с маркировкой «Ист.пит.». Изменением скорости вращения первичного двигателя (турбины) при помощи ЛАТРа довести частоту сети до 50 Гц (техническая настройка АЧР1).
8. Повернуть ключ управления SA1 в положение «B2», что приведёт к включению выключателя нагрузки Qн и подключению нагрузки к генератору. Отпустить ключ управления SA1, который самопроизвольно вернётся в положение «B1». По частотометру зафиксировать значение частоты и занести в таблицу 1 (рабочая нагрузка).
9. Переключением тумблера SA3 в верхнее положение подключить дополнительную нагрузку, имитируя тем самым наличие дефицита мощности в системе. По частотометру быстро зафиксировать значение частоты и занести в таблицу 8.1 (аварийный режим).
10. Наблюдать работу схемы в режиме АЧР1.

11. После срабатывания схемы в режиме АЧРІ и отключения выключателем нагрузки Qн по частотомеру зафиксировать значение частоты и занести в таблицу 8.1.

12. Плавно увеличивая ЛАТРом скорость первичного двигателя (турбины) довести частоту вращения до уставки возврата реле частоты 49,5÷50 Гц, ликвидируя тем самым дефицит мощности в системе.

Таблица 8.1

Режим	Частота f, Гц			
	Техническая настройка	Рабочая нагрузка	Аварийная нагрузка	После срабатывания АЧР
АЧРІ				
АЧРІІ				

13. Наблюдать работу системы в режиме ЧАПВ.

14. Переключить тумблер SA3 в нижнее положение и при помощи ЛАТРа снизить частоту вращения первичного двигателя до 50 Гц. Переключить ключ управления SA1 в положение O2, отключив тем самым выключатель нагрузки Qн, и снова, при помощи ЛАТРа, отрегулировать частоту до 50 Гц.

15. Переключить тумблер SA2 в положение АЧРІІ, при этом сигнальная лампа красного цвета над тумблером должна погаснуть (техническая настройка АЧРІІ).

16. Повторить работу схемы в режиме АЧРІІ руководствуясь п.п. 8÷13.

17. Плавно уменьшая при помощи ЛАТРа частоту вращения первичного двигателя, довести генератор до полной остановки, т.е. установить ЛАТР в начальное положение.

18. Отключить генератор путём нажатия кнопки «ОТКЛ.» с маркировкой «Ист.пит.».

19. Перевести ключ управления SA1 в положение O1, переключить тумблер SA3 в нижнее положение. Тумблер SA2 переключить в положение АЧРІ.

20. Отключить оперативный ток от оперативной схемы путём нажатия кнопочного выключателя SB, причём сигнальная лампа красного цвета с надписью «СТЕНД» внутри выключателя должна погаснуть.

21. Отключить источник оперативного тока путём нажатия кнопки «ОТКЛ.» с маркировкой «СТЕНД».

22. Отключить автоматический выключатель на стенде лаборатории, при этом должна погаснуть сигнальная лампа зелёного цвета с надписью «СЕТЬ». Предоставить стенд и протокол лабораторной работы для осмотра преподавателю

#### Форма отчетности:

В отчет по практическому занятию вносится:

1. Название и цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема АЧР.
4. Таблица с результатами испытаний.
5. Выводы о проделанной работе.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию:

При подготовке к практическому занятию и для его выполнения необходимо изучить литературу, указанную ниже.

#### Основная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Издательство БрГУ, 2014. – 278 с.

#### Дополнительная литература

1. Попик, В.А. Релейная защита и автоматика электрических систем: учеб. Пособие / В.А. Попик, Ю.Н. Булатов. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013. – 56 с.

2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для ВУЗов – 4-е перераб. и доп.изд. – М.: Высш.шк., 2006.- 639 с.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Назовите причины аварийного снижения частоты в энергосистеме.
2. Каково назначение АЧРІ и АЧРІІ?

### 3. Работа схемы АЧР и ЧАПВ.

#### 9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы

Для выполнения контрольной работы предварительно определяются токи короткого замыкания в характерных точках схемы и рабочие токи основных элементов. Для заданной схемы электроснабжения промышленного предприятия, разрабатываются принципы защит питающих линий, трансформаторов главной понизительной подстанции, цеховых трансформаторов. Для каждого типа защит в соответствии с заданием выполняется расчёт параметров, проверка чувствительности, осуществляется разработка измерительной и оперативной схем комплекса защит, выбор элементов. При разработке защит на электромеханических элементах следует дать рекомендацию по применению перспективного варианта компьютерной защиты.

Контрольная работа имеет объём 15–20 страниц и должна содержать:

- 1) введение;
- 2) обоснование принятых принципов релейной защиты;
- 3) расчёт токов короткого замыкания;
- 4) расчёт первичных параметров срабатывания и оценку чувствительности защит элементов в соответствии с заданием;
- 5) выбор трансформаторов тока и расчёт вторичных параметров (токов срабатывания реле) для защит объектов согласно заданию;
- 6) разработку схем комплексов защит объектов согласно заданию в электромеханическом варианте и схем присоединения рекомендуемого варианта микропроцессорной защиты;
- 7) оценку типов и мест установки устройств сетевой автоматики;

#### 10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

- ОС Windows 7 Professional;
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level;
- Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security;
- ПО "Антиплагиат"
- Дистанционная защита (Distance v.1.00);
- National Instruments: LabVIEW Professional Development System, Circuit Design Suite, в который входят Multisim и Ultiboard.

#### 11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия (Лк, ПЗ, кр, СР)</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ЛР или ПЗ</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Лк	Лаборатория релейной защиты и автоматики	Плакаты, меловая доска, образцы элементов релейной защиты	
ПЗ	Лаборатория релейной защиты и автоматики	Плакаты, доска, образцы элементов релейной защиты.	
кр	Лаборатория релейной защиты и автоматики	Натуральные образцы элементов релейной защиты.	
СР	ЧЗ 3	Оборудование 15 ПК-	

		CPU 5000/RAM 2Gb/HDD (Монитор TFT 19 LG 1953S-SF);принтер HP LaserJet P3005	
--	--	---	--

## Приложение 1

### ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### 1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-3	способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей	1. Элементы релейной защиты и автоматики. Защиты линий и сетей	1.1.Общее понятие релейной защиты	Вопросы к зачету 1-7
			1.2.Электромеханические реле	
			1.3.Реле с использованием полупроводников	
			1.4.Токовые защиты	
			1.5.Дифференциальная защита ЛЭП	
			1.6.Дистанционные защиты ЛЭП	
			1.7.Высокочастотные защиты ЛЭП	
		2. Динамическая устойчивость электроэнергетических систем	2.1.Защита силовых трансформаторов	Вопросы к зачету 8-11
			2.2.Защиты электродвигателей	
			2.3.Защиты синхронных генераторов	
			2.4.Защита и автоматика специальных электроустановок	
		3. Регулирование частоты и перетоков мощности в энергосистемах	3.1.Автоматика повторного включения	Вопросы к зачету 12-15
			3.2.Автоматика включения резерва	
			3.3.Автоматическая частотная разгрузка	
			3.4.Автоматика регулирования напряжения	
		4. Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики	4.1.Основные элементы системы автоматического управления	Вопросы к зачету 16-18
4.2.Классификация систем автоматического управления				

		электроэнергетическ х систем	4.3.Классификация автоматики электроэнергетических систем	
ПК-6	способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием	1. Элементы релейной защиты и автоматики. Защиты линий и сетей	1.1.Общее понятие релейной защиты	Вопросы к зачету 1-7
			1.2.Электромеханические реле	
			1.3.Реле с использованием полупроводников	
			1.4.Токовые защиты	
			1.5.Дифференциальная защита ЛЭП	
			1.6.Дистанционные защиты ЛЭП	
			1.7.Высокочастотные защиты ЛЭП	
		2. Динамическая устойчивость электроэнергетическ х систем	2.1.Защита силовых трансформаторов	Вопросы к зачету 8-11
			2.2.Защиты электродвигателей	
			2.3.Защиты синхронных генераторов	
			2.4.Защита и автоматика специальных электроустановок	
		3. Регулирование частоты и перетоков мощности в энергосистемах	3.1.Автоматика повторного включения	Вопросы к зачету 12-15
			3.2.Автоматика включения резерва	
			3.3.Автоматическая частотная разгрузка	
			3.4.Автоматика регулирования напряжения	
		4. Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетическ х систем	4.1.Основные элементы системы автоматического управления	Вопросы к зачету 16-18
4.2.Классификация систем автоматического управления				
4.3.Классификация автоматики электроэнергетических систем				

## 2. Вопросы к зачету

№ п/п	Компетенции		ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ОПК-3	способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей	1.Общее понятие релейной защиты 2.Электромеханические реле 3.Реле с использованием полупроводников 4.Токовые защиты 5.Дифференциальная защита ЛЭП 6.Дистанционные защиты ЛЭП 7.Высокочастотные защиты ЛЭП	1. Элементы релейной защиты и автоматики. Защиты линий и сетей
			8.Защита силовых трансформаторов 9.Защиты электродвигателей 10.Защиты синхронных генераторов 11.Защита и автоматика специальных электроустановок	2. Защиты машин и аппаратов
			12.Автоматика повторного включения 13.Автоматика включения резерва 14.Автоматическая частотная разгрузка 15.Автоматика регулирования напряжения	3. Автоматика в системах электроснабжения
			16.Основные элементы системы автоматического управления 17.Классификация систем автоматического управления 18.Классификация автоматики электроэнергетических систем	4. Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем
2.	ПК-6	способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем	1.Общее понятие релейной защиты 2.Электромеханические реле 3.Реле с использованием полупроводников 4.Токовые защиты 5.Дифференциальная защита ЛЭП 6.Дистанционные защиты ЛЭП 7.Высокочастотные защиты ЛЭП	1. Элементы релейной защиты и автоматики. Защиты линий и сетей

		<p>автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматизации, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием</p>	<p>8.Защита силовых трансформаторов 9.Защиты электродвигателей 10.Защиты синхронных генераторов 11.Защита и автоматика специальных электроустановок</p>	<p><b>2.</b> Защиты машин и аппаратов</p>
			<p>12.Автоматика повторного включения 13.Автоматика включения резерва 14.Автоматическая частотная разгрузка 15.Автоматика регулирования напряжения</p>	<p><b>3.</b> Автоматика в системах электроснабжения</p>
			<p>16.Основные элементы системы автоматического управления 17.Классификация систем автоматического управления 18.Классификация автоматизации электроэнергетических систем</p>	<p><b>4.</b> Принципы автоматического управления, виды автоматизации, классификация автоматизации электроэнергетических систем</p>

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать</b> (ОПК-3):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- принципы устройства и работы релейной защиты; технические средства и модели;</li> </ul> <p>(ПК-6):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- принципы настройки релейных защит различного типа.</li> </ul> <p><b>Уметь</b> (ОПК-3):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять технические средства и специальное оборудование в электроэнергетических системах;</li> </ul> <p>(ПК-6):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работать с элементами и схемами релейной защиты и автоматики.</li> </ul> <p><b>Владеть</b> (ОПК-3):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- системами программирования управления техническими средствами;</li> </ul> <p>(ПК-6):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками работы с реальными техническими средствами релейной защиты и автоматики; методами управления и настройки устройств релейной защиты и автоматики.</li> </ul>	<p><b>зачтено</b></p>	<p>Студент должен показать знания основ расчета параметров устройств релейной защиты и автоматики.</p>
	<p><b>не зачтено</b></p>	<p>На вопросы студент отвечает неубедительно. На дополнительные вопросы преподавателя также не может ответить.</p>

### 4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Релейная защита и автоматика направлена формирование знаний о принципах организации и технической реализации релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем.

Изучение дисциплины Релейная защита и автоматика предусматривает:

- лекции,
- практические занятия,
- контрольную работу,
- зачет.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется на первом этапе обратить внимание на выполнение расчетов параметров различных защит, синтез схемы, в том числе и на микропроцессорной основе; приобретение навыков работы с элементами и схемами защит, их настройки и экспериментальных исследований.

В процессе проведения практических занятий происходит закрепление навыков применения методов анализа переходных процессов, оценки основных параметров аварийного режима, оценки запаса статической и динамической устойчивости, выработки мероприятий по повышению устойчивости электрических систем.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературы. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в Интернете.

## **АННОТАЦИЯ**

### **рабочей программы дисциплины**

### **Релейная защита и автоматика**

#### **1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является формирование знаний о принципах организации и технической реализации релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем.

Задачей изучения дисциплины является формирование умений выполнять расчеты параметров различных защит, синтезировать схемы, в том числе и на микропроцессорной основе; приобретение навыков работы с элементами и схемами защит, их настройки и экспериментальных исследований.

#### **2. Структура дисциплины**

2.1. Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк 17 часов; ПЗ 34 часа; СР 57 часов.  
Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, 3 зачетные единицы.

2.2. Основные разделы дисциплины:

- 1 – Элементы релейной защиты и автоматики. Защиты линий и сетей.
- 2 – Защиты машин и аппаратов.
- 3 – Автоматика в системах электроснабжения.
- 4 – Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем.

#### **3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-3 - способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей;

ПК-6 - способность производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием.

#### **4. Вид промежуточной аттестации: зачет.**

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 201\_\_-201\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

---

---

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

---

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.,  
(разработчик)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО  
КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

2.

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-3	способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей	1. Элементы релейной защиты и автоматики. Защиты линий и сетей	1.1.Общее понятие релейной защиты	Собеседование
			1.2.Электромеханические реле	
			1.3.Реле с использованием полупроводников	
			1.4.Токовые защиты	
			1.5.Дифференциальная защита ЛЭП	
			1.6.Дистанционные защиты ЛЭП	
			1.7.Высокочастотные защиты ЛЭП	
		2. Динамическая устойчивость электроэнергетических систем	2.1.Защита силовых трансформаторов	Собеседование, кр
			2.2.Защиты электродвигателей	
			2.3.Защиты синхронных генераторов	
			2.4.Защита и автоматика специальных электроустановок	
		3. Регулирование частоты и перетоков мощности в энергосистемах	3.1.Автоматика повторного включения	Собеседование, кр
			3.2.Автоматика включения резерва	
3.3.Автоматическая частотная разгрузка				
3.4.Автоматика регулирования напряжения				
4. Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем	4.1.Основные элементы системы автоматического управления	Собеседование, кр		
	4.2.Классификация систем автоматического управления			
	4.3.Классификация автоматики электроэнергетических систем			
ПК-6	способность производить расчеты и проектирование	1. Элементы релейной защиты и автоматики. Защиты линий и сетей	1.1.Общее понятие релейной защиты	Собеседование
1.2.Электромеханические				

отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматики, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием		реле	
		1.3.Реле с использованием полупроводников	
		1.4.Токовые защиты	
		1.5.Дифференциальная защита ЛЭП	
		1.6.Дистанционные защиты ЛЭП	
		1.7.Высокочастотные защиты ЛЭП	
	2. Динамическая устойчивость электроэнергетических систем	2.1.Защита силовых трансформаторов	Собеседование, кр
		2.2.Защиты электродвигателей	
		2.3.Защиты синхронных генераторов	
		2.4.Защита и автоматика специальных электроустановок	
	3. Регулирование частоты и перетоков мощности в энергосистемах	3.1.Автоматика повторного включения	Собеседование, кр
		3.2.Автоматика включения резерва	
		3.3.Автоматическая частотная разгрузка	
	3.4.Автоматика регулирования напряжения		
4. Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем	4.1.Основные элементы системы автоматического управления	Собеседование, кр	
	4.2.Классификация систем автоматического управления		
	4.3.Классификация автоматики электроэнергетических систем		

### Вопросы для собеседования

#### Раздел 1. Элементы релейной защиты и автоматики. Защиты линий и сетей

- 1.Общее понятие релейной защиты
- 2.Электромеханические реле
- 3.Реле с использованием полупроводников
- 4.Токовые защиты
- 5.Дифференциальная защита ЛЭП
- 6.Дистанционные защиты ЛЭП
- 7.Высокочастотные защиты ЛЭП

#### Раздел 2. Защиты машин и аппаратов

1. Защита силовых трансформаторов
- 2.Защиты электродвигателей
- 3.Защиты синхронных генераторов
- 4.Защита и автоматика специальных электроустановок

### **Раздел 3. Автоматика в системах электроснабжения**

1. Автоматика повторного включения
2. Автоматика включения резерва
3. Автоматическая частотная разгрузка
4. Автоматика регулирования напряжения

### **Раздел 4. Принципы автоматического управления, виды автоматики, классификация автоматики электроэнергетических систем**

1. Основные элементы системы автоматического управления
2. Классификация систем автоматического управления
3. Классификация автоматики электроэнергетических систем

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 27.03.04 Управление в технических системах от «20» октября 2015 г. № 1171

**для набора 2014 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «03» 07.2018 г. № 413.

**для набора 2015 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «04» 12.2015 г. № 768, заочной формы обучения от «04» 12.2015 г. № 768.

**для набора 2016 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» 06.2016г. №429, заочной формы обучения от «06» 06.2016 г. № 429 для заочной формы (ускоренного обучения) от «06» 06.2016 г. № 429.

**Программу составил:**

Игнатъев И.В. заведующий кафедрой УТС, доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры УТС

от «28» декабря 2018 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ И.В. Игнатъев

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий выпускающей кафедрой \_\_\_\_\_ И.В. Игнатъев

Директор библиотеки \_\_\_\_\_ Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией факультета ЭиА

от «28» декабря 2018 г., протокол № 5

Председатель методической комиссии факультета \_\_\_\_\_ А.Д. Ульянов

**СОГЛАСОВАНО:**

Начальник  
учебно-методического управления \_\_\_\_\_ Г.П. Нежевец

Регистрационный № \_\_\_\_\_