

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
энергетического факультета
Амурского государственного
университета

А. Н. Козлов, Ю.В. Мясоедов

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Релейная защита и автоматика» для студентов очной формы обучения специальностей 140204 – «Электрические станции», 140205 – «Электроэнергетические системы и сети», 140211 – «Электроснабжение», а также заочной и заочной ускоренной формы обучения специальностей 140205 – «Электроэнергетические системы и сети» и 140211 – «Электроснабжение».

Учебно-методические рекомендации ориентированы на оказание помощи студентам очной, заочной и заочной ускоренной форм обучения указанных специальностей для формирования специальных знаний о назначении, принципах действия и особенностях выполнения современных устройств релейной защиты и автоматики элементов электроэнергетических систем.

Рецензент: Ротачев Ю.А., *к.т.н., доцент, начальник территориального центра РП «Востокэнерготехнадзор» при ОАО «Амурэнерго».*

ВВЕДЕНИЕ

Государственный образовательный стандарт предусматривает изучение вопросов релейной защиты и автоматизации для специальностей 140204, 140205, 140211 следующим образом:

- для специальностей 140204 и 140205 дисциплина «Релейная защита и автоматизация» является одной из дисциплин специализации – шифр ДС-2 для специальности 140204 и ДС-3 – для 140205

- для специальности 140211 дисциплина «Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения» является одной из базовых специальных дисциплин – шифр СД-08.

Анализ требований Государственных образовательных стандартов и утвержденных Минобразованием России *Примерных программ дисциплин «Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения» и «Релейная защита и автоматизация»* для направления подготовки 650900 «Электроэнергетика» показал, что лекции по значительному числу разделов указанных дисциплин можно прочитать для всех специальностей в общем потоке. Эта возможность была реализована при разработке рабочих учебных планов специальностей – общий блок лекций читается для студентов очной формы обучения в седьмом семестре в объеме 48 часов. На этом для специальностей 140204 и 140205 изучение курса будет завершено, а для специальности 140211 в восьмом семестре предусмотрено продолжение подготовки – лекции по второй части курса в объеме 30 часов.

За основу при компоновке учебно-методического комплекса дисциплины взяты материалы, разработанные для специальности 140211, как наиболее полные.

Изучение релейной защиты, автоматики и телемеханики базируется на сведениях, излагаемых в дисциплинах: «Теоретические основы электротехники», «Электрические машины», «Электрические системы и сети», «Промышленная электроника», «Электрические станции и подстанции систем электроснабжения».

Целью изучения дисциплины является формирование знаний по основам релейной защиты и автоматики электрических систем и систем электроснабжения, усвоение принципов действия и конструкции элементов, на основе которых выполняются устройства релейной защиты, автоматики и телемеханики, принципов их действия, расчет параметров этих устройств.

В результате изучения дисциплины, в соответствии с квалификационными характеристиками выпускников, студенты должны знать:

- логические структуры устройств защиты и автоматики;
- принципы выполнения и работы основных видов защиты;
- разбираться в схемах устройств защиты и автоматики.

Согласование часов для указанных выше специальностей и форм обучения приведено в таблице 1.

Таблица 1.

Часы, предусмотренные рабочими учебными планами для изучения дисциплины «Релейная защита и автоматизация» и «Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения»

Вид занятий	Очная форма обучения			Заочная форма обучения		Заочная ускоренная форма обучения	
	140204	140205	140211	140205	140211	140205	140211
Семестр	7 8	7 8	7 8	5 курс	5 курс	3 год обуч.	3 год обуч.
Лекции	48 -	48 -	48 30	6	10	12	14
Практические занятия	- 15	- 15	- 15	4	6	6	6
Лабораторные работы	16 -	16 -	16 -	2	4	4	4
Самостоятельная работа	28	20	34	118	160	88	86
Контр. раб.: к-во, (сем)	-	-	-	1 (5)	1 (5)	1	1
Курсовое проектирование	- 40	- 40	- 40	5 сем.	5 сем.	40	40
Зачет (семестр)	-	-	- 8	-	-	-	-
Экзамен (семестр)	7 -	7 -	7 -	5	5	5 сем	6 сем
Всего часов	147	139	183	130	180	110	110
в т.ч. аудиторных	79	79	109	12	20	22	24

2.1.1. Программа дисциплины, соответствующая требованиям Государственного образовательного стандарта

- для специальности 140211

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Департамента образовательных программ и стандартов профессионального образования

_____ Л.С.Гребнев
" ____ " _____ 2001г.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

**Рекомендуется Минобразованием России для направления подготовки специалистов 650900 - ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА.
Специальность 100400 - Электроснабжение**

1. Цели и задачи дисциплины.

Целью изучения дисциплины является подготовка инженеров в области релейной защиты и автоматики систем электроснабжения. При этом особое внимание уделяется принципам выполнения и технической реализации устройств релейной защиты и автоматики основных элементов системы электроснабжения

Задачами изучения дисциплины является освоение студентами как теоретических основ релейной защиты и автоматики, так и методов расчета параметров настройки устройств релейной защиты и автоматики элементов систем электроснабжения.

2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

- знать требования к основным и релейным защитам всех элементов системы электроснабжения, принципы действия этих защит, назначение и принципы выполнения устройств автоматического управления и регулирования в системах электроснабжения, современные и перспективные устройства релейной защиты и автоматики;
- уметь выполнять расчеты параметров настройки устройств релейной защиты и автоматики систем электроснабжения;
- иметь навыки проектирования систем релейной защиты и автоматики систем электроснабжения с использованием современных и перспективных устройств релейной защиты и автоматики.

2. Объем дисциплины в виды учебной работы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
Общая трудоемкость дисциплины	180	9
Аудиторные занятия	85	9
Лекции	51	9
Лабораторные работы (ЛР)	34	9
Самостоятельная работа	95	9
Расчетное задание	55	9
Подготовка к ПЗ и ЛР	40	
Вид итогового контроля		Зачет Экзамен

4. Содержание дисциплины.

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ЛР
1.	Характеристики токов и напряжений в ненормальных и аварийных режимах распределительных электрических сетей и основных электроприемников.	*	*
2.	Применение основных типов релейных защит; расчеты и выбор параметров аппаратов.	*	*
3.	Области автоматизированного управления состояниями схем питания потребителей и электроприемников; характеристики и выбор аппаратов автоматического повторного включения, ввода резервного электрооборудования, синхронизации и др.	*	*
4.	Основные сведения о телемеханизации и диспетчерском управлении.	*	

4.2. Содержание разделов дисциплины.

4.2.1. Характеристики токов и напряжений в нормальных аварийных режимах распределительных электрических сетей и основных электроприемников.

Общие вопросы теории и практики автоматического и автоматизированного управления в системах электроснабжения. Назначение и виды устройств релейной защиты и автоматики в системах электроснабжения.

Повреждения и ненормальные режимы работы системы электроснабжения и ее отдельных элементов. Векторные диаграммы токов и напряжений при коротких замыканиях (КЗ) в системе электроснабжения. Требования к устройствам релейной защиты и автоматики.

4.2.2. Применение основных типов релейной защиты; расчеты и выбор параметров аппаратов.

Токовые защиты линий с односторонним питанием от междуфазных КЗ. Максимальная токовая защита. Токовая отсечка. Токовая защита со ступенчатой характеристикой выдержки времени. Типовые схемы измерительных органов токовых защит.

Трансформаторы тока в устройствах релейной защиты. Измерительные и логические реле. Источники оперативного тока. Принципиальные схемы токовых защит. Токовые защиты с использованием предохранителей с плавкой вставкой и автоматических выключателей.

Токовая защита линий от замыканий на землю в сети с заземленной, изолированной и компенсированной нейтралью.

Релейная защита линий с двухсторонним питанием. Токовая направленная защита. Дистанционная защита линии. Сопротивление и время срабатывания ступеней дистанционной защиты. реле направления мощности. “Девяностоградусная” схема включения реле направления мощности.

Продольная дифференциальная токовая защита линии. Поперечная дифференциальная токовая защита сдвоенной линии. Поперечная дифференциальная токовая направленная защита параллельных линий.

Релейная защита трансформаторов. Основные защиты трансформатора (двухступенчатая токовая защита, газовая защита, продольная дифференциальная токовая защита). Резервные защиты трансформатора.

Релейная защита электрических двигателей. Двухступенчатая токовая защита, продольная дифференциальная токовая защита. Защита двигателей от перегрузки. защита от исчезновения питания. защита двигателей от однофазных и двойных замыканий на землю в цепи статора. Защита синхронного двигателя от асинхронного хода.

4.2.3. Области автоматизированного управления состояниями схем питания потребителей и электроприемников; характеристики и выбор аппаратов автоматического повторного включения, ввода резервного электрооборудования, синхронизации и др.

АПВ линий с односторонним питанием. Требования к устройствам АПВ. Возможности ускорения действия защиты линий при наличии АПВ. Механическое и электрическое АПВ.

АРВ линии. Требования к устройствам АРВ; одностороннее и двухстороннее АРВ.

Автоматическое отключение трансформатора на подстанции, выполненной по упрощенной схеме. АПВ трансформатора. АРВ трансформатора. Автоматическая аварийная разгрузка трансформатора. Автоматическое управление режимами трансформатора. Автоматическое регулирование коэффициента трансформации понижающего трансформатора.

Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин. регулирование возбуждения по возмущающему воздействию и по отклонению напряжения от установленного значения. Автоматическое управление конденсаторными батареями.

Основные принципы регулирования частоты в электроэнергетических системах. Возможные последствия возникновения дефицита активной мощности в системе. “Лавина” частоты. Регулирующий эффект нагрузки. принципы организации автоматической частотной разгрузки (АЧР). Быстродействующая и медленнодействующая категории АЧР. АПВ после АЧР. Реле частоты, принципиальная схема АЧР.

4.2.4. Основные сведения о телемеханизации и диспетчерском управлении.

Телемеханизация как основа автоматизации диспетчерского управления системой электроснабжения. Понятие сообщения, сигнала, помехи, канала связи, информации. Количественная мера информации. Виды телемеханической информации. Несущий процесс, виды модуляции, кодо-импульсная модуляция. Помехозащитные коды. Принципы построения и структура кодо-импульсного устройства телемеханики. Примеры современных кодо-импульсных устройств телемеханики ближнего действия.

Перспектива дальнейшего развития релейной защиты, автоматики и телемеханизации систем электроснабжения.

5. Лабораторный практикум.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1.	1.	Векторные диаграммы токов и напряжений при коротких замыканиях
2.	2	Токовая ступенчатая защита электрической сети.
3.	2	Релейная защита трансформатора
4.	2	Релейная защита электрического двигателя
5.	3	Автоматическое повторное включение
6.	3	Автоматическое включение резервного источника питания
7.	3	Автоматическая частотная разгрузка.
8.	3	Автоматическое регулирование возбуждения синхронной машины

6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

6.1. Рекомендуемая литература

а) основная литература:

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. - М.: Высшая школа, 1991.
2. Кривенков В.В., Новелла В.Н. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. - М.: Энергоиздат, 1981.

б) дополнительная литература:

1. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. - М.: Энергоатомиздат, 1998.
2. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем. - М.: МЭИ, 2000.

6.2. Средства обеспечения освоения дисциплины

Контролирующие и расчетные компьютерные программы.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Специализированная лаборатория релейной защиты и автоматизации систем электроснабжения, снабженная универсальными стендами.

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки специалистов 650900 - ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА специальности 100400 - Электроснабжение.

Программу составили:

Кривенков В.В., доцент МЭИ (ТУ)

Панкратова Е.А., доцент МЭИ (ТУ)

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по специальности 100400 – Электроснабжение.

Председатель Учебно-методической комиссии по специальности 100400 Электроснабжение

_____ Глазунов А.А.

Программа одобрена на заседании Учебно-методического совета по направлению 650900 – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

от " 15 " декабря 2000 г.

Протокол № 3

Председатель Учебно-методического совета
по направлению 650900 – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

_____ Жуков В.В.

Председатель Совета УМО по образованию в области
энергетики

_____ Аметистов Е.В.

2.1.2. Рабочая программа дисциплины

- для специальностей 140204 и 140205, очная форма обучения

Федеральное агентство по образованию РФ
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УНР

Е.С. Астапова

личная подпись, И.О.Ф

" " _____ 200__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине «Релейная защита и автоматизация»

(наименование дисциплины)

для специальностей 140204 "Электрические станции"

140205 "Электроэнергетические системы и сети"

(шифр и наименование специальности)

Курс 4

Семестр 7, 8

Лекции 48 (час.)

Экзамен 7
(семестр)

Практические (семинарские) занятия 15 (час.)

Зачет _____
(семестр)

Лабораторные занятия 16 (час.)

Курсовой проект – 8 семестр

Самостоятельная работа 28 / 20 (час.) КСР - 40

Всего часов 147 / 139, в т.ч. ауд. 79 / 79

Составитель Козлов Александр Николаевич, доцент, канд. техн. наук

(И.О.Ф., должность, ученое звание)

Факультет энергетический

Кафедра энергетики

2006 г.

Рабочая программа составлена на основании ГОС ВПО по направлению подготовки дипломированного специалиста 650900 – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА. В рамках данного направления на кафедре Энергетики реализуется подготовка дипломированного специалиста по специальностям 140204, 140205, 140211.
(Государственного образовательного стандарта ВПО или типовой программы)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры _____

"__" _____ 200__ г., протокол № _____

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на заседании УМС _____
(наименование специальности)

"__" _____ 200__ г., протокол № _____

Председатель _____
(подпись, И.О.Ф.)

Рабочая программа переутверждена на заседании кафедры от _____
протокол № _____.

Зав.кафедрой _____
подпись Ф.И.О.

СОГЛАСОВАНО
Начальник УМУ

(подпись, И.О.Ф.)
«__» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО
Председатель УМС факультета

(подпись, И.О.Ф.)
«__» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО
Заведующий выпускающей кафедрой

(подпись, И.О.Ф.)
«__» _____ 200__ г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Государственный образовательный стандарт предусматривает изучение вопросов релейной защиты и автоматизации для специальностей 140204, 140205 следующим образом:

- для специальностей 140204 и 140205 дисциплина «Релейная защита и автоматизация» является одной из дисциплин специализации – шифр ДС-2 для специальности 140204 и ДС-3 – для 140205

1.1. Цель преподавания дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование знаний по основам релейной защиты и автоматизации электрических систем и систем электроснабжения.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Задачей изучения дисциплины является усвоение принципов действия и конструкции элементов, на основе которых выполняются устройства релейной защиты, автоматики и телемеханики, принципов их действия, расчет параметров этих устройств.

В результате изучения дисциплины, в соответствии с квалификационной характеристикой выпускников, студенты должны знать:

- логические структуры устройств защиты и автоматики;
- принципы выполнения и работы основных видов защиты;
- разбираться в схемах устройств защиты и автоматики.

1.3. Перечень дисциплин, усвоение которых необходимо студентам при изучении данной дисциплины

Изучение релейной защиты, автоматики и телемеханики базируется на сведениях, излагаемых в дисциплинах: “Теоретические основы электротехники”, “Электрические машины”, “Электрические системы и сети”, “Промышленная электроника”, “Электрические станции и подстанции систем электроснабжения” и является основой для изучения дисциплин “Электроснабжение промышленных предприятий”, “Электроснабжение сельского хозяйства”, “Электроснабжение городов”.

2. ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС (48 ЧАСОВ)

Введение – 2 часа.

Технико-экономическая необходимость автоматизации управления единым процессом производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. Повреждения и ненормальные режимы в системах электроснабжения. Назначение устройства защиты и автоматики и телемеханизации: их элементы и функциональные части. Основные требования, предъявляемые к устройствам защиты, автоматики и телемеханики, их основные принципы действия.

Линейные и нелинейные измерительные преобразователи синусоидальных напряжений и токов – 4 часа

Первичные измерительные преобразователи тока и напряжения. Маркировка концов обмоток, векторные диаграммы и условия работы трансформаторов тока и напряжения. Реакторы и трансформаторы. Магнитные усилители. Насыщающиеся трансформаторы тока. Фильтры симметричных составляющих тока и напряжения.

Источники оперативного тока – 2 часа

Постоянный и переменный оперативный ток. Источники постоянного оперативного тока. Аккумуляторные батареи. Источники переменного тока (оперативного). Схемы с реле прямого действия. Схемы с дешунтированием электромагнитов отключения выключателей. Выпрямительные блоки питания. Использование энергии предварительно заряженных конденсаторов. Источники оперативного тока для полупроводниковых защит.

Элементы устройств защиты и автоматики – 4 часа.

Принцип действия и выполнение электромагнитных реле. Первичные реле прямого действия. Вторичные реле тока и напряжения прямого и косвенного действия. Электромагнитные логические реле, указательные реле. Индукционные измерительные реле тока, направление мощности, сопротивления, частоты. Поляризованные и магнитоэлектрические реле. Плавкие предохранители и электротепловые реле. Микроэлектронная элементная база. Элементы логических операций. Схемы сравнения. Использование аналоговых микросхем. Области использования операционных усилителей: инвертирующий усилитель, неинвертирующий усилитель, дифференциальный усилитель, ноль-орган, компаратор, дифференцирующие и интегрирующие схемы, выпрямители. Использование логических интегральных микросхем. Микропроцессорная база.

Защита и автоматика электрических сетей напряжением до 1000 В – 4 часа.

Назначение и выполнение защиты сетей напряжением до 1000 В. Плавкие предохранители, выбор параметров, их чувствительность и селективность. Расцепители автоматических выключателей, их чувствительность и селективность. Защиты от однофазных коротких замыканий на землю в четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью. Устройства автоматического включения резерва в сетях напряжением до 1000 В.

Релейная защита линий электропередач в сетях напряжением выше 1000 В – 8 часов.

Виды повреждений и ненормальных режимов работы линий. Соотношение токов и напряжений с двух сторон силового трансформатора в случае возникновения повреждений на одной из них: максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени. Выбор параметров срабатывания и проверки чувствительности. Схемы включения измерительных органов токов защиты: трехфазная схема с соединением трансформаторов тока и реле в полную звезду, двухфазная двух- и трехрелейная с соединением трансформаторов тока и реле в неполную звезду, двухфазная однорелейная схема с соединением трансформаторов тока в неполный треугольник и включением реле на разность токов двух фаз, трехфазная трехрелейная схема соединения трансформаторов тока в треугольник, а обмоток реле в звезду.

Выполнение максимальной токовой защиты на переменном оперативном токе с независимой, ограничено зависимой выдержкой времени.

Токовые отсечки без выдержки времени и с выдержкой времени. Ступенчатая токовая защита. Неселективные токовые защиты в сочетании с АПВ. Токовая защита нулевой последовательности для сетей с глухозаземленными нейтральями.

Максимальная токовая направленная защита. Принцип действия.

Выбор параметров срабатывания. Схема включения реле направления мощности. Токовая направленная отсечка. Схемы включения обмоток трансформаторов напряжения и реле.

Защиты от замыкания на землю в сетях с изолированными или заземленными через дугогасящие реакторы нейтральями: общая сигнализация от замыкания на землю, токовая защита нулевой последовательности, направленная защита нулевой последовательности.

Дистанционная защита. Принцип выполнения. Выбор параметров срабатывания защиты со ступенчатой характеристикой.

Продольная и поперечная дифференциальные токовые защиты.

Принципы их действия. Направленная дифференциальная токовая защита параллельных линий.

Защита синхронных генераторов, работающих непосредственно на шины генераторного напряжения – 4 часа.

Виды повреждений и ненормальных режимов работы генераторов. Требования, предъявляемые к защите.

Защита низковольтных генераторов. Защита высоковольтных генераторов мощностью до 1 МВт. Защита высоковольтных генераторов мощностью более 1 МВт.

Продольная дифференциальная токовая защита. Разновидности схем продольных дифференциальных защит. Выбор параметров защиты и проверка ее чувствительности. Поперечная дифференциальная токовая защита обмотки статора. Выбор уставок защиты. Защита от замыканий обмотки статора на корпус. Принцип выполнения защиты. Выбор параметров срабатывания защиты с трансформатором тока нулевой последовательности, имеющим подмагничивание.

Защита генераторов от сверхтоков внешних коротких замыканий и перегрузок. Разновидности защиты. Выбор уставок защиты и проверки ее чувствительности. Защита от перегрузок токами обратной последовательности.

Защита от повышения напряжения.

Защита ротора от замыкания на корпус в одной и во второй точках обмотки возбуждения. Защита ротора от перегрузки током возбуждения. Типовые схемы, параметры настройки.

Устройство для гашения магнитного поля генератора. Противопожарные устройства.

Защита трансформаторов и автотрансформаторов - 6 часов.

Виды повреждений и ненормальных режимов работы трансформаторов и автотрансформаторов. Особенности автотрансформаторов.

Токовые защиты трансформаторов от внутренних и внешних коротких замыканий.

Токовая отсечка. Токовая защита со ступенчатой характеристикой выдержки времени. Защита замыканий на землю понижающих трансформаторов. Назначение и принцип действия дифференциальной защиты. Особенности дифференциальной защиты трансформаторов. Токи небаланса в дифференциальной защите трансформаторов. Меры для предупреждения действия защиты от токов небаланса. Токи намагничивания силовых трансформаторов при включении под напряжением. Способы предотвращения работы защиты от бросков тока намагничивания. Дифференциальная токовая отсечка. Дифференциальная защита с токовым реле, включенными через быстроснабвощающиеся трансформаторы. Дифференциальная защита с реле, имеющими торможение.

Принцип действия газового реле и соответствующей защиты.

Токовые защиты от внешних коротких замыканий. Максимальные токовые защиты. Токовая защита нулевой последовательности. Токовая защита с пуском по напряжению. Защита от внешних коротких замыканий на землю повышающих трансформаторов, работающих с заземленной нейтралью.

Защита от перегрузки трансформаторов и автотрансформаторов.

Защита трансформаторов, не имеющих выключателей на стороне питания. Защита трансформаторов высоковольтными предохранителями. Выбор предохранителей и согласование их характеристик с характеристиками релейной защиты питающих линий.

Применение переменного оперативного тока в защите трансформаторов. Устройство реле для переменного оперативного тока. Назначение короткозамыкателей и отделителей.

Защита отдельных элементов электрических установок и электродвигателей – 4 часа.

Релейная защита асинхронных двигателей. Общие требования к защите электродвигателей. Виды повреждений и ненормальных режимов работы асинхронных двигателей. Типы защит асинхронных двигателей. Токовая защита асинхронных двигателей от многофазных замыканий. Токовая и тепловая защита от сверхтоков. Дифференциальная токовая защита. Токовая защита нулевой последовательности. Минимальная защита напряжения.

Виды повреждений и ненормальных режимов синхронных двигателей. Типы защит синхронных двигателей. Защиты синхронных двигателей от несинхронной работы. Защита электродвигателей на переменном оперативном токе.

Особенности защиты синхронных компенсаторов, батарей статических конденсаторов, выпрямительных агрегатов, преобразовательных установок и трансформаторов электропечных установок, шин и токопроводов.

Автоматическое включение резервного питания и оборудования - 2 часа.

Осуществление схем электроснабжения потребителей с односторонним питанием с целью снижения уровней токов коротких замыканий, упрощения релейной защиты, осуществления заданного режима по напряжению. Осуществление автоматического включения резерва /АВР/ с целью повышения надежности энергоснабжения потребителей в схемах с односторонним питанием. Общие принципы построения схем АВР. Назначение пусковых органов минимального напряжения и схемы их выполнения. Пусковой орган с реле частоты. Обеспечение однократности действия АВР. Ускорение действия релейной защиты после неуспешного АВР. Примеры схем АВР для сетей разного напряжения.

Автоматическое повторное включение – 2 часа

Целесообразность применения устройств автоматического повторного включения /АПВ/ на линиях электропередачи. Трехфазное АПВ линий с односторонним питанием. АПВ на воздушных, кабельных и смешанных линиях. Однократность действия АПВ.

Определение выдержки времени АПВ, АПВ линий, питающих подстанции без выключателей на стороне высшего напряжения. Особенности совместной работы АПВ и релейной защиты на линиях электропередачи.

АПВ двукратного действия на линиях с односторонним питанием, АПВ шин и трансформаторов. Электрические схемы АПВ на постоянном и переменном оперативном токе.

Автоматическая частотная разгрузка – 2 часа

Назначение автоматической частотной разгрузки /АЧР/. Схемы устройств АЧР с использованием реле частоты. Автоматическое повторное включение после автоматической частотной разгрузки /АПВ - ЧАПВ/. Делительные защиты на заводских электростанциях.

Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин и напряжения на шинах подстанций – 4 часа.

Влияние напряжения на качество электроэнергии. Способы изменения напряжения на шинах потребителя.

Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин. Устройство компаундирования и электромагнитный корректор напряжения. Назначение автоматического регулирования возбуждения синхронных машин.

Форсировка возбуждения синхронных машин, схемы гашения поля синхронных машин. Стабилизация напряжения на подстанциях с нагрузкой переменной, обуславливающей быстрые и глубокие колебания напряжения, с помощью синхронных компенсаторов, оснащенных тиристорной системой возбуждения и АРВ сильного действия. Синхронизация генераторов.

Автоматическое регулирование напряжения на подстанциях: изменение коэффициента трансформации под нагрузкой, отключение и включение батарей статических конденсаторов. Автоматическое отключение и включение трансформатора для уменьшения потерь энергии.

3. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

На практических занятиях решают задачи по выбору параметров срабатывания и проверки чувствительности защит. Должны быть рассмотрены:

- 3.1. Токовые направления защиты для сетей с двусторонним питанием и кольцевых сетях и защиты в сетях с одним источником питания.
- 3.2. Дистанционная защита линий.
- 3.3. Токовая защита линий нулевой последовательности.
- 3.4. Защита сетей с изолированной нейтралью от замыканий на землю.
- 3.5. Поперечная дифференциальная токовая направленная защита параллельных линий.
- 3.6. Дифференциальная защита трансформатора.
- 3.7. Защиты синхронного генератора.

4. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ:

На лабораторных занятиях закрепляются теоретические знания студентов, полученные на лекциях, а также формируются навыки по выполнению испытаний и проверок устройств релейной защиты. При подготовке к выполнению лабораторных работ студенты изучают принципы действия и техническое выполнение устройств релейной защиты и производят расчеты параметров их настройки. В лаборатории производятся экспериментальные исследования и снимаются характеристики устройств релейной защиты.

В рамках часов отведенных эти занятия, могут быть выполнены следующие лабораторные работы:

- 4.1. Исследование реле тока, напряжения, времени, указательного промежуточного.
- 4.2. Исследование реле направления мощности, сопротивления.
- 4.3. Исследование различных схем включения трансформаторов тока и реле.
- 4.4. Исследование ступенчатой токовой защиты ЛЭП.
- 4.5. Исследование токовой защиты ЛЭП с ограниченно зависимой характеристикой выдержек времени.
- 4.6. Исследование токовой направленной защиты ЛЭП.
- 4.7. Исследование токовой защиты нулевой последовательности для сетей с изолированной нейтралью.
- 4.8. Исследование дистанционной защиты ЛЭП.
- 4.9. Исследование дифференциально-фазной защиты линий.
- 4.10. Исследование поперечной дифференциальной токовой направленной защиты параллельных ЛЭП.

5. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Целью курсового проекта является освоение, в основном – самостоятельно – принципов выбора аппаратуры и расчета параметров релейной защиты – определения уставок защит и реле, проверки на чувствительность, определения зоны действия. Обязательным приложением к пояснительной записке по курсовой работе является минимум один лист графической части.

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА

Включает изучение лекционного материала и литературы по дисциплине при подготовке к практическим и лабораторным занятиям а также активный поиск новой информации в Интернете по заданию лектора или руководителя практических занятий.

6.1. Темы индивидуальной работы студента

- Источники оперативного тока.
- Основные направления развития РЗ
- Фильтры симметричных составляющих
- Высокочастотные защиты
- Высокочастотная обвязка воздушных линий электропередачи
- Статические реле
- Защиты шин
- Схемы управления коммутационной аппаратурой
- УРОВ.

7. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

В процессе изучения дисциплины «Релейная защита и автоматизация» и «Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения» предусмотрены следующие виды промежуточного контроля знаний студентов:

- экспресс-опрос лектора по итогам изучения разделов курса;
- выполнение и защита отчетов по лабораторным работам.
- выполнение контрольных работ по темам, рассмотренным на практических занятиях.

8. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Повреждения и ненормальные режимы элементов электроэнергетической системы – основные понятия, термины и определения, векторные диаграммы.
2. Назначение устройств релейной защиты. Требования к устройствам релейной защиты
3. Принципы построения устройств релейной защиты. Основные элементы
4. Оперативный ток. Назначение. Источники.
5. Защита электрических цепей плавкими предохранителями. Выбор и согласование плавких вставок. Преимущества и недостатки. Область применения.
6. Обеспечение селективности при защите участков электрической сети плавкими предохранителями
7. Защита электрических сетей автоматическими выключателями.
8. Электромеханические реле времени, промежуточные, указательные – назначение, основные элементы конструкции
9. Способы устранения вибрации электромагнитных реле, работающих на переменном токе
10. Схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и катушек реле. Коэффициент схемы.
11. Фильтры тока и напряжения нулевой последовательности
12. Фильтр напряжения обратной последовательности
13. Фильтр тока обратной последовательности
14. Максимальная токовая защита. Выбор уставок по току и времени. Схема МТЗ.
15. Токовая отсечка. Выбор уставок. Схема отсечки.
16. Токовая отсечка с выдержкой времени. Токовая трехступенчатая защита.
17. Способы повышения чувствительности токовых защит
18. МТЗ с пуском по напряжению.
19. МТЗ на линиях с двусторонним питанием.
20. Реле направления мощности.
21. Особенности работы токовых защит в кольцевых сетях
22. Дистанционные защиты. Область применения. Принцип работы.
23. Выбор уставок дистанционной защиты
24. Принцип выполнения реле сопротивления
25. Поперечная дифференциальная защита параллельных линий
26. Направленная поперечная дифференциальная защита параллельных линий – область применения, выбор уставок, особенности работы
27. Продольная дифференциальная защита элементов электрической сети: принципы организации защиты.
28. Способы повышения чувствительности продольной дифференциальной защиты.
29. Реле с торможением – назначение и принцип работы.
30. Дифференциальное реле с магнитным торможением
31. Работа сети с изолированной нейтралью в режиме замыкания фазы на землю.
32. Принципы организации защиты от замыканий на землю.
33. Трансформаторы тока нулевой последовательности. ТНП с подмагничиванием
34. Повреждения и ненормальные режимы генераторов
35. Основные защиты генераторов. Принципы действия защит
36. Односистемная поперечная дифференциальная защита статора генератора
37. Резервные защиты статора генератора
38. Защита ротора генератора
39. Повреждения и ненормальные режимы силовых трансформаторов
40. Продольная дифференциальная защита трансформаторов – особенности
41. Дифференциальная защита трансформаторов на реле с торможением
42. Выбор места включения тормозной обмотки
43. Газовая защита масляных трансформаторов
44. Резервные защиты трансформатора

45. Автоматическое повторное включение. Обоснование применения, основные требования, их реализация в схеме
46. Противоаварийная автоматика
47. Автоматический ввод резерва. Обоснование применения, основные требования, их реализация в схеме
48. Автоматическая частотная разгрузка. Область применения, основные требования
49. Делительная автоматика (АПХ, АЛАР). Область применения. Назначение
50. Понятие электрического центра системы

9. Учебно-методическая (технологическая) карта дисциплины
«Релейная защита и автоматизация»

Номер недели	Номер темы	Вопросы изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые наглядные и методические пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			Пр.	Лаб.		содержание	час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Седьмой семестр								
1	1 2 2.1	<i>Введение</i> Технико-экономическая необходимость автоматизации управления единым процессом производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. Повреждения и ненормальные режимы в системах электроснабжения. Назначение устройства защиты и автоматики и телемеханизации: их элементы и функциональные части. Основные требования, предъявляемые к устройствам защиты, автоматики и телемеханики, их основные принципы действия - 2 часа. <i>Линейные и нелинейные измерительные преобразователи синусоидальных напряжений и токов</i> Первичные измерительные преобразователи тока и напряжения. Маркировка концов обмоток, векторные диаграммы и условия работы трансформаторов тока и напряжения. – 2 ч.			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос
2	2.2	Реакторы и трансформаторы. Магнитные усилители. Насыщающиеся трансформаторы тока. Фильтры симметричных составляющих тока и напряжения. – 2 ч.		4.1	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика ЭЭС. Часть 1.	Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
3	3 4 4.1	<i>Источники оперативного тока</i> Постоянный и переменный оперативный ток. Источники постоянного оперативного тока. Аккумуляторные батареи. Источники переменного тока (оперативного). Схемы с реле прямого действия. Схемы с дешунтированием электромагнитов отключения выключателей. Выпрямительные блоки питания. Использование энергии предварительно заряженных конденсаторов. Источники оперативного тока для полупроводниковых защит. – 2 ч. <i>Элементы устройств защиты и автоматики</i> Принцип действия и выполнение электромагнитных реле. Первичные реле прямого действия. Вторичные реле тока и напряжения прямого и косвенного действия. Электромагнитные логические реле, указательные реле. Индукционные измерительные реле тока, направление мощности, сопротивления, частоты. – 2ч			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	4.2	Микроэлектронная элементная база. Элементы логических операций. Схемы сравнения. Использование аналоговых микросхем. Области использования операционных усилителей: инвертирующий усилитель, неинвертирующий усилитель, дифференциальный усилитель, ноль-орган, компаратор, дифференцирующие и интегрирующие схемы, выпрямители. Использование логических интегральных микросхем. Микропроцессорная база. – 2 ч.		4.2	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1.	Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
5	5	<i>Защита и автоматика электрических сетей напряжением до 1000 В</i> Назначение и выполнение защиты сетей напряжением до 1000 В. Плавкие предохранители, выбор параметров, их чувствительность и селективность. Расцепители автоматических выключателей, их чувствительность и селективность. Защиты от однофазных коротких замыканий на землю в четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью. Устройства автоматического включения резерва в сетях напряжением до 1000 В. - 4 ч.			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Источники оперативного тока	2	Тест
6	6 6.1	<i>Релейная защита линий электропередач в сетях напряжением выше 1000 В</i> Виды повреждений и ненормальных режимов работы линий. Соотношение токов и напряжений с двух сторон силового трансформатора в случае возникновения повреждений на одной из них: максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени. Выбор параметров срабатывания и проверки чувствительности. – 2 ч.		4.3	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1.	Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
7	6.2 6.3	Схемы включения измерительных органов токов защиты: трехфазная схема с соединением трансформаторов тока и реле в полную звезду, двухфазная двух- и трехрелейная с соединением трансформаторов тока и реле в неполную звезду, двухфазная однорелейная схема с соединением трансформаторов тока в неполный треугольник и включением реле на разность токов двух фаз, трехфазная трехрелейная схема соединения трансформаторов тока в треугольник, а обмоток реле в звезду. Выполнение максимальной токовой защиты на переменном оперативном токе с независимой, ограниченно зависимой выдержкой времени. Токковые отсечки без выдержки времени и с выдержкой времени. Ступенчатая токовая защита. Неселективные токовые защиты в сочетании с АПВ. Токовая защита нулевой последовательности для сетей с глухозаземленными нейтралью. Максимальная токовая направ-			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос

	6.4	<p>ленная защита. Принцип действия.</p> <p>Выбор параметров срабатывания. Схема включения реле направления мощности. Токовая направленная отсечка. Схемы включения обмоток трансформаторов напряжения и реле.</p> <p>Защиты от замыкания на землю в сетях с изолированными или заземленными через дугогасящие реакторы нейтралями: общая сигнализация от замыкания на землю, токовая защита нулевой последовательности, направленная защита нулевой последовательности. – 4 ч</p>					
8	6.5 6.6	<p>Дистанционная защита. Принцип выполнения. Выбор параметров срабатывания защиты со ступенчатой характеристикой.</p> <p>Продольная и поперечная дифференциальные токовые защиты. Принципы их действия. Направленная дифференциальная токовая защита параллельных линий.–2ч</p>	4.4	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1.	Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
9	7 7.1 7.2	<p><i>Защита синхронных генераторов, работающих непосредственно на шины генераторного напряжения</i></p> <p>Виды повреждений и ненормальных режимов работы генераторов. Требования, предъявляемые к защите.</p> <p>Защита низковольтных генераторов. Защита высоковольтных генераторов мощностью до 1 МВт. Защита высоковольтных генераторов мощностью более 1 МВт.</p> <p>Продольная дифференциальная токовая защита. Разновидности схем продольных дифференциальных защит. Выбор параметров защиты и проверка ее чувствительности. Поперечная дифференциальная токовая защита обмотки статора. Выбор уставок защиты. Защита от замыканий обмотки статора на корпус. Принцип выполнения защиты. Выбор параметров срабатывания защиты с трансформатором тока нулевой последовательности, имеющим подмагничивание.</p> <p>Защита генераторов от сверхтоков внешних коротких замыканий и перегрузок. Разновидности защиты. Выбор уставок защиты и проверки ее чувствительности. Защита от перегрузок токами обратной последовательности. Защита от повышения напряжения.</p> <p>Защита ротора от замыкания на корпус в одной и во второй точках обмотки возбуждения. Защита ротора от перегрузки током возбуждения. Типовые схемы, параметры настройки.</p> <p>Устройство для гашения магнитного поля генератора. Противопожарные устройства. – 4 ч.</p>		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Фильтры симметричных составляющих	2	Тест

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	8 8.1	<i>Защита трансформаторов и автотрансформаторов</i> Виды повреждений и ненормальных режимов работы трансформаторов и автотрансформаторов. Особенности автотрансформаторов. Токовые защиты трансформаторов от внутренних и внешних коротких замыканий. Токовая отсечка. Токовая защита со ступенчатой характеристикой выдержки времени. Защита замыканий на землю понижающих трансформаторов.– 2 ч.		4.5	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1.	Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
11	8.2 8.3	Назначение и принцип действия дифференциальной защиты. Особенности дифференциальной защиты трансформаторов. Токи небаланса в дифференциальной защите трансформаторов. Меры для предупреждения действия защиты от токов небаланса. Токи намагничивания силовых трансформаторов при включении под напряжением. Способы предотвращения работы защиты от бросков тока намагничивания. Дифференциальная токовая отсечка. Дифференциальная защита с токовым реле, включенными через быстросыщающиеся трансформаторы. Дифференциальная защита с реле, имеющими торможение. Принцип действия газового реле и соответствующей защиты. Токовые защиты от внешних коротких замыканий. Максимальные токовые защиты. Токовая защита нулевой последовательности. Токовая защита с пуском по напряжению. Защита от внешних коротких замыканий на землю повысительных трансформаторов, работающих с заземленной нейтралью. Защита от перегрузки трансформаторов и автотрансформаторов. Защита трансформаторов, не имеющих выключателей на стороне питания. Защита трансформаторов высоковольтными предохранителями. Выбор предохранителей и согласование их характеристик с характеристиками релейной защиты питающих линий. Применение переменного оперативного тока в защите трансформаторов. Устройство реле для переменного оперативного тока. Назначение короткозамыкателей и отделителей.– 4 ч.			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	9 9.1	<i>Защита отдельных элементов электрических установок и электродвигателей</i> Релейная защита асинхронных двигателей. Общие требования к защите электродвигателей. Виды повреждений и ненормальных режимов работы асинхронных двигателей. Типы защит асинхронных двигателей. Токовая защита асинхронных двигателей от многофазных замыканий. Токовая и тепловая защита от сверхтоков. Дифференциальная токовая защита. Токовая защита нулевой последовательности. Минимальная защита напряжения.– 2 ч.		4.6	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1.	Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
13	9.2 10	Виды повреждений и ненормальных режимов синхронных двигателей. Типы защит синхронных двигателей. Защиты синхронных двигателей от несинхронной работы. Защита электродвигателей на переменном оперативном токе. Особенности защиты синхронных компенсаторов, батарей статических конденсаторов, выпрямительных агрегатов, преобразовательных установок и трансформаторов электропечных установок, шин и токопроводов. – 2 ч. <i>Автоматическое включение резервного питания и оборудования</i> Осуществление схем электроснабжения потребителей с односторонним питанием с целью снижения уровней токов коротких замыканий, упрощения релейной защиты, осуществления заданного режима по напряжению. Осуществление автоматического включения резерва /АВР/ с целью повышения надежности энергоснабжения потребителей в схемах с односторонним питанием. Общие принципы построения схем АВР. Назначение пусковых органов минимального напряжения и схемы их выполнения. Пусковой орган с реле частоты. Обеспечение однократности действия АВР. Ускорение действия релейной защиты после неуспешного АВР. Примеры схем АВР для сетей разного напряжения.– 2 ч			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	11	<p><i>Автоматическое повторное включение</i> Целесообразность применения устройств автоматического повторного включения /АПВ/ на линиях электропередачи. Трехфазное АПВ линий с односторонним питанием. АПВ на воздушных, кабельных и смешанных линиях. Однократность действия АПВ. Определение выдержки времени АПВ, АПВ линий, питающих подстанции без выключателей на стороне высшего напряжения. Особенности совместной работы АПВ и релейной защиты на линиях электропередачи. АПВ двукратного действия на линиях с односторонним питанием, АПВ шин и трансформаторов. Электрические схемы АПВ на постоянном и переменном оперативном токе. -2 ч</p>		4.7	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1., Часть 3	Подготовка к ЛР	1	Защита ЛР
15	12 13 13.1	<p><i>Автоматическая частотная разгрузка</i> Назначение автоматической частотной разгрузки /АЧР/. Схемы устройств АЧР с использованием реле частоты. Автоматическое повторное включение после автоматической частотной разгрузки /АПВ - ЧАПВ/. Делительные защиты на заводских электростанциях. – 2 ч. <i>Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин и напряжения на шинах подстанций</i> Влияние напряжения на качество электроэнергии. Способы изменения напряжения на шинах у потребителя. Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин. Устройство компаундирования и электромагнитный корректор напряжения. Назначение автоматического регулирования возбуждения синхронных машин. – 2 ч</p>			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос
16	13.2	<p>Форсировка возбуждения синхронных машин, схемы гашения поля синхронных машин. Стабилизация напряжения на подстанциях с нагрузкой переменной, обуславливающей быстрые и глубокие колебания напряжения, с помощью синхронных компенсаторов, оснащенных тиристорной системой возбуждения и АРВ сильного действия. Синхронизация генераторов. Автоматическое регулирование напряжения на подстанциях: изменение коэффициента трансформации под нагрузкой, отключение и включение батарей статических конденсаторов. Автоматическое отключение и включение трансформатора для уменьшения потерь энергии. - 2 ч.</p>		4.8	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1., Часть 3	Подготовка к ЛР	1	Защита ЛР

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Восьмой семестр								
1			3.1		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	2	
2						Выполнение КП	2	
3			3.2		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	4	Проверка токов КЗ
4						Выполнение КП	2	
5			3.3		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	2	
6						Выполнение КП	2	
7			3.4		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	4	Проверка расчетов защит
8						Выполнение КП	2	
9			3.5		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	2	
10						Выполнение КП	2	
11			3.6		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	4	Проверка листов гра- фики
12						Выполнение КП	2	
13			3.7		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	2	
14						Выполнение КП	2	
15					Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	6	Защита КП

10. ЛИТЕРАТУРА

Основная:

- Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с.
- Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.
- Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.

Дополнительная:

- Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита электрических систем. - М.: Энергоатомиздат, 1992. – 346 с.
- Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита электроэнергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 2007, - 800 с.
- Окин А.А. Противоаварийная автоматика. – М.: Издательство МЭИ, 1995. – 206 с.
- Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1. Электромеханические реле защиты: Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2002. – 88 с.
- Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. Ун-та, 2007. – 158 с.
- Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 3. Электроавтоматика: Лабораторный практикум. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. Ун-та, 2006. – 92 с.
- Козлов А.Н., Ротачев Ю.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. Ун-та, 2006. – 120 с.
- Фабрикант В.Л., и др. Задачник по релейной защите. – М.: Высшая школа, 1971. – 608 с.
- Барзам А.Б., Пояркова Т.М. Лабораторные работы по релейной защите и автоматике. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 256 с.

Пример задания на курсовой проект по релейной защите для специальности 140203:

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра энергетики

Задание на курсовой проект по дисциплине
"Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем"

Курс: четвертый
Специальность: 140204
Группа: 342
Студент:

Дата защиты курсового проекта:
15 мая 2007 г.

Исходные данные:

1. Схема Амурской электроэнергетической системы;
2. Данные о токах короткого замыкания на объектах энергосистемы;
3. Потоки мощности и уровни напряжения в сетях 110 кВ и выше энергосистемы.

Объем работы:

1. Для участка сети 220 кВ ПС «Тында» – ПС «Хорогочи» выбрать необходимые устройства релейной защиты и автоматики и рассчитать уставки этих устройств.
2. Рассчитать параметры релейной защиты трансформатора подстанции «Хорогочи».
3. Привести электрические схемы рассчитанных защит и устройств автоматики

Алгоритм выбора и расчета защит и устройств автоматики:

- В соответствии с ПУЭ произвести предварительный выбор защит.
- Из исходных данных выбрать необходимые токи КЗ и рассчитать недостающие параметры.
- Рассчитать уставки, проверить защиты по чувствительности, принять решение об установке, либо об отказе в установке защиты.

Задание подшивается в пояснительную записку после титульного листа. Исходные данные – в приложение к пояснительной записке.

Графическая часть курсового проекта (выполняется на двух листах формата А1): поясняющая схема, цепи тока и напряжения, оперативные цепи защит и устройств автоматики, сигнальные цепи, цепи отключения и схема управления выключателем. Лист 1 – защита линии; лист 2 - защита трансформатора.

Руководитель курсового проекта _____ Ротачева А.Г.

2.1.2. Рабочая программа дисциплины

- для специальности 140211, очная форма обучения

Федеральное агентство по образованию РФ
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УНР

Е.С. Астапова

личная подпись, И.О.Ф

"__" _____ 200__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине «Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения»

(наименование дисциплины)

для специальностей 140211 "Электроснабжение"

(шифр и наименование специальности)

Курс 4 Семестр 7, 8

Лекции 78 (48+30) (час.) Экзамен 7
(семестр)

Практические (семинарские) занятия 15 (час.) Зачет 8
(семестр)

Лабораторные занятия 16 (час.)

Курсовой проект – 8 семестр

Самостоятельная работа 34 (час.) КСР - 40

Всего часов 183, в т.ч. ауд. 109

Составители Козлов Александр Николаевич, доцент, канд. техн. наук - часть 1

Мясоедов Юрий Викторович, проф., канд. техн. наук - часть 2

(И.О.Ф., должность, ученое звание)

Факультет энергетический

Кафедра энергетики

2006 г.

Рабочая программа составлена на основании ГОС ВПО по направлению подготовки дипломированного специалиста 650900 – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА. В рамках данного направления на кафедре Энергетики реализуется подготовка дипломированного специалиста по специальности 140211.

(Государственного образовательного стандарта ВПО или типовой программы)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедр-

ры _____

"__" _____ 200__ г., протокол № _____

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на заседании УМС _____
(наименование специальности)

"__" _____ 200__ г., протокол № _____

Председатель _____
(подпись, И.О.Ф.)

Рабочая программа переутверждена на заседании кафедры от _____
протокол № _____.

Зав.кафедрой _____
подпись Ф.И.О.

СОГЛАСОВАНО

Начальник УМУ

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель УМС факультета

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО

Заведующий выпускающей кафедрой

(подпись, И.О.Ф.)

«__» _____ 200__ г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Государственный образовательный стандарт предусматривает изучение вопросов релейной защиты и автоматизации следующим образом: для специальности 140211 дисциплина «Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения» является одной из базовых специальных дисциплин – шифр СД-08.

2.1. Федеральный компонент

Государственный образовательный стандарт предусматривает изучение вопросов релейной защиты, организации автоматического контроля, телемеханики и средств связи в энергосистемах для специальности 140211 – «Электроснабжение» на достаточно высоком уровне. Совершенствование устройств защиты, автоматики, средств передачи информации, контроля и управления в электроэнергетических системах, появление новых методов передачи информации в телемеханических системах требуют от инженера умения компетентно и ответственно решать задачи по разработке, эксплуатации и ремонту устройств телеизмерения, телесигнализации и телеуправления.

Целью данного курса является изучение студентами современных устройств релейной защиты и автоматики, средств передачи информации и управления в электроэнергетических системах. При этом рассматриваются методы передачи информации в телемеханических системах, анализируются информационные потоки, способы их передачи и надежность функционирования телемеханических комплексов.

Знания и умения студента

Студенты должны знать: - основные принципы работы защит и устройств автоматики, принципы передачи телемеханической информации, информационные основы управления (сообщение, информация, сигнал, помехи, кодирование), каналы связи, технические средства сбора, передачи и отображения оперативно-диспетчерской информации, системы телеуправления, телесигнализации, телерегулирования и телеизмерения, каналы связи по линиям электропередачи.

Студенты должны уметь: рассчитывать уставки устройств РЗА, читать схемы устройств, оценивать эффективность применения альтернативных принципов передачи телемеханической информации в конкретных ситуациях; разрабатывать оригинальные модули элементов проектируемых систем, каналов связи, технических средств сбора, передачи и отображения оперативно-диспетчерской информации, систем телеуправления, телесигнализации, телерегулирования и телеизмерения, каналов связи по линиям электропередачи.

СТАНДАРТ ПО ПРЕДМЕТУ (ВЫДЕРЖКИ)

100400 - ОПД 06 Электроэнергетика:

Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения:

Характеристики токов и напряжений в ненормальных и аварийных режимах распределительных электрических сетей и основных электроприёмников; применение основных типов релейных защит; расчёты и выбор параметров аппаратов; области автоматизированного управления состояниями схем питания потребителей и электроприёмников; характеристики и выбор аппаратов автоматического повторного включения, ввода резервного электрооборудования, синхронизации и др.; основные сведения о телемеханизации и диспетчерском управлении.

1.3. Цель преподавания дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование знаний по основам релейной защиты и автоматики электрических систем и систем электроснабжения.

1.4. Задачи изучения дисциплины

Задачей изучения дисциплины является усвоение принципов действия и конструкции элементов, на основе которых выполняются устройства релейной защиты, автоматики и телемеханики, принципов их действия, расчет параметров этих устройств.

В результате изучения дисциплины, в соответствии с квалификационной характеристикой выпускников, студенты должны знать:

- логические структуры устройств защиты и автоматики;
- принципы выполнения и работы основных видов защиты;
- разбираться в схемах устройств защиты и автоматики.

1.3. Перечень дисциплин, усвоение которых необходимо студентам при изучении данной дисциплины

Изучение релейной защиты, автоматики и телемеханики базируется на сведениях, излагаемых в дисциплинах: “Теоретические основы электротехники”, “Электрические машины”, “Электрические системы и сети”, “Промышленная электроника”, “Электрические станции и подстанции систем электроснабжения” и явля-

ется основой для изучения дисциплин “Электроснабжение промышленных предприятий”, “Электроснабжение сельского хозяйства”, “Электроснабжение городов”.

Релейная защита и автоматика систем электроснабжения.

Часть 1. Принципы работы и расчет уставок

Седьмой семестр.

2 ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС (48 ЧАСОВ)

Введение – 2 часа.

Технико-экономическая необходимость автоматизации управления единым процессом производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. Повреждения и ненормальные режимы в системах электроснабжения. Назначение устройства защиты и автоматики и телемеханизации: их элементы и функциональные части. Основные требования, предъявляемые к устройствам защиты, автоматики и телемеханики, их основные принципы действия.

Линейные и нелинейные измерительные преобразователи синусоидальных напряжений и токов – 4 часа

Первичные измерительные преобразователи тока и напряжения. Маркировка концов обмоток, векторные диаграммы и условия работы трансформаторов тока и напряжения. Реакторы и трансформаторы. Магнитные усилители. Насыщающиеся трансформаторы тока. Фильтры симметричных составляющих тока и напряжения.

Источники оперативного тока – 2 часа

Постоянный и переменный оперативный ток. Источники постоянного оперативного тока. Аккумуляторные батареи. Источники переменного тока (оперативного). Схемы с реле прямого действия. Схемы с дешунтированием электромагнитов отключения выключателей. Выпрямительные блоки питания. Использование энергии предварительно заряженных конденсаторов. Источники оперативного тока для полупроводниковых защит.

Элементы устройств защиты и автоматики – 4 часа.

Принцип действия и выполнение электромагнитных реле. Первичные реле прямого действия. Вторичные реле тока и напряжения прямого и косвенного действия. Электромагнитные логические реле, указательные реле. Индукционные измерительные реле тока, направление мощности, сопротивления, частоты. Поляризованные и магнитоэлектрические реле. Плавкие предохранители и электротепловые реле. Микроэлектронная элементная база. Элементы логических операций. Схемы сравнения. Использование аналоговых микросхем. Области использования операционных усилителей: инвертирующий усилитель, неинвертирующий усилитель, дифференциальный усилитель, ноль-орган, компаратор, дифференцирующие и интегрирующие схемы, выпрямители. Использование логических интегральных микросхем. Микропроцессорная база.

Защита и автоматика электрических сетей напряжением до 1000 В – 4 часа.

Назначение и выполнение защиты сетей напряжением до 1000 В. Плавкие предохранители, выбор параметров, их чувствительность и селективность. Расцепители автоматических выключателей, их чувствительность и селективность. Защиты от однофазных коротких замыканий на землю в четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью. Устройства автоматического включения резерва в сетях напряжением до 1000 В.

Релейная защита линий электропередач в сетях напряжением выше 1000 В – 8 часов.

Виды повреждений и ненормальных режимов работы линий. Соотношение токов и напряжений с двух сторон силового трансформатора в случае возникновения повреждений на одной из них: максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени. Выбор параметров срабатывания и проверки чувствительности. Схемы включения измерительных органов токов защиты: трехфазная схема с соединением трансформаторов тока и реле в полную звезду, двухфазная двух- и трехрелейная с соединением трансформаторов тока и реле в неполную звезду, двухфазная однорелейная схема с соединением трансформаторов тока в неполный треугольник и включением реле на разность токов двух фаз, трехфазная трехрелейная схема соединения трансформаторов тока в треугольник, а обмоток реле в звезду.

Выполнение максимальной токовой защиты на переменном оперативном токе с независимой, ограниченно зависимой выдержкой времени.

Токовые отсечки без выдержки времени и с выдержкой времени. Ступенчатая токовая защита. Неселек-

тивные токовые защиты в сочетании с АПВ. Токовая защита нулевой последовательности для сетей с глухозаземленными нейтральными.

Максимальная токовая направленная защита. Принцип действия.

Выбор параметров срабатывания. Схема включения реле направления мощности. Токовая направленная отсечка. Схемы включения обмоток трансформаторов напряжения и реле.

Защиты от замыкания на землю в сетях с изолированными или заземленными через дугогасящие реакторы нейтральными: общая сигнализация от замыкания на землю, токовая защита нулевой последовательности, направленная защита нулевой последовательности.

Дистанционная защита. Принцип выполнения. Выбор параметров срабатывания защиты со ступенчатой характеристикой.

Продольная и поперечная дифференциальные токовые защиты.

Принципы их действия. Направленная дифференциальная токовая защита параллельных линий.

Защита синхронных генераторов, работающих непосредственно на шины генераторного напряжения – 4 часа.

Виды повреждений и ненормальных режимов работы генераторов. Требования, предъявляемые к защите.

Защита низковольтных генераторов. Защита высоковольтных генераторов мощностью до 1 МВт. Защита высоковольтных генераторов мощностью более 1 МВт.

Продольная дифференциальная токовая защита. Разновидности схем продольных дифференциальных защит. Выбор параметров защиты и проверка ее чувствительности. Поперечная дифференциальная токовая защита обмотки статора. Выбор уставок защиты. Защита от замыканий обмотки статора на корпус. Принцип выполнения защиты. Выбор параметров срабатывания защиты с трансформатором тока нулевой последовательности, имеющим подмагничивание.

Защита генераторов от сверхтоков внешних коротких замыканий и перегрузок. Разновидности защиты. Выбор уставок защиты и проверки ее чувствительности. Защита от перегрузок токами обратной последовательности.

Защита от повышения напряжения.

Защита ротора от замыкания на корпус в одной и во второй точках обмотки возбуждения. Защита ротора от перегрузки током возбуждения. Типовые схемы, параметры настройки.

Устройство для гашения магнитного поля генератора. Противопожарные устройства.

Защита трансформаторов и автотрансформаторов - 6 часов.

Виды повреждений и ненормальных режимов работы трансформаторов и автотрансформаторов. Особенности автотрансформаторов.

Токовые защиты трансформаторов от внутренних и внешних коротких замыканий.

Токовая отсечка. Токовая защита со ступенчатой характеристикой выдержки времени. Защита замыканий на землю понижающих трансформаторов. Назначение и принцип действия дифференциальной защиты. Особенности дифференциальной защиты трансформаторов. Токи небаланса в дифференциальной защите трансформаторов. Меры для предупреждения действия защиты от токов небаланса. Токи намагничивания силовых трансформаторов при включении под напряжением. Способы предотвращения работы защиты от бросков тока намагничивания. Дифференциальная токовая отсечка. Дифференциальная защита с токовым реле, включенными через быстроснабщающиеся трансформаторы. Дифференциальная защита с реле, имеющими торможение.

Принцип действия газового реле и соответствующей защиты.

Токовые защиты от внешних коротких замыканий. Максимальные токовые защиты. Токовая защита нулевой последовательности. Токовая защита с пуском по напряжению. Защита от внешних коротких замыканий на землю повысительных трансформаторов, работающих с заземленной нейтралью.

Защита от перегрузки трансформаторов и автотрансформаторов.

Защита трансформаторов, не имеющих выключателей на стороне питания. Защита трансформаторов высоковольтными предохранителями. Выбор предохранителей и согласование их характеристик с характеристиками релейной защиты питающих линий.

Применение переменного оперативного тока в защите трансформаторов. Устройство реле для переменного оперативного тока. Назначение короткозамыкателей и отделителей.

Защита отдельных элементов электрических установок и электродвигателей – 4 часа.

Релейная защита асинхронных двигателей. Общие требования к защите электродвигателей. Виды повреждений и ненормальных режимов работы асинхронных двигателей. Типы защит асинхронных двигателей. Токовая защита асинхронных двигателей от многофазных замыканий. Токовая и тепловая защита от сверхтоков. Дифференциальная токовая защита. Токовая защита нулевой последовательности. Минимальная защита напряжения.

Виды повреждений и ненормальных режимов синхронных двигателей. Типы защит синхронных двигателей. Защиты синхронных двигателей от несинхронной работы. Защита электродвигателей на переменном опе-

ративном токе.

Особенности защиты синхронных компенсаторов, батарей статических конденсаторов, выпрямительных агрегатов, преобразовательных установок и трансформаторов электропечных установок, шин и токопроводов.

Автоматическое включение резервного питания и оборудования - 2 часа.

Осуществление схем электроснабжения потребителей с односторонним питанием с целью снижения уровней токов коротких замыканий, упрощения релейной защиты, осуществления заданного режима по напряжению. Осуществление автоматического включения резерва /АВР/ с целью повышения надежности энергоснабжения потребителей в схемах с односторонним питанием. Общие принципы построения схем АВР. Назначение пусковых органов минимального напряжения и схемы их выполнения. Пусковой орган с реле частоты. Обеспечение однократности действия АВР. Ускорение действия релейной защиты после неуспешного АВР. Примеры схем АВР для сетей разного напряжения.

Автоматическое повторное включение – 2 часа

Целесообразность применения устройств автоматического повторного включения /АПВ/ на линиях электропередачи. Трехфазное АПВ линий с односторонним питанием. АПВ на воздушных, кабельных и смешанных линиях. Однократность действия АПВ.

Определение выдержки времени АПВ, АПВ линий, питающих подстанции без выключателей на стороне высшего напряжения. Особенности совместной работы АПВ и релейной защиты на линиях электропередачи.

АПВ двухкратного действия на линиях с односторонним питанием, АПВ шин и трансформаторов. Электрические схемы АПВ на постоянном и переменном оперативном токе.

Автоматическая частотная разгрузка – 2 часа

Назначение автоматической частотной разгрузки /АЧР/. Схемы устройств АЧР с использованием реле частоты. Автоматическое повторное включение после автоматической частотной разгрузки /АПВ - ЧАПВ/. Делительные защиты на заводских электростанциях.

Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин и напряжения на шинах подстанций – 4 часа.

Влияние напряжения на качество электроэнергии. Способы изменения напряжения на шинах у потребителя.

Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин. Устройство компаундирования и электромагнитный корректор напряжения. Назначение автоматического регулирования возбуждения синхронных машин.

Форсировка возбуждения синхронных машин, схемы гашения поля синхронных машин. Стабилизация напряжения на подстанциях с нагрузкой переменной, обуславливающей быстрые и глубокие колебания напряжения, с помощью синхронных компенсаторов, оснащенных тиристорной системой возбуждения и АРВ сильного действия. Синхронизация генераторов.

Автоматическое регулирование напряжения на подстанциях: изменение коэффициента трансформации под нагрузкой, отключение и включение батарей статических конденсаторов. Автоматическое отключение и включение трансформатора для уменьшения потерь энергии.

3. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

На практических занятиях решают задачи по выбору параметров срабатывания и проверки чувствительности защит. Должны быть рассмотрены:

3.1. Токовые направления защиты для сетей с двусторонним питанием и кольцевых сетях и защиты в сетях с одним источником питания.

3.2. Дистанционная защита линий.

3.3. Токовая защита линий нулевой последовательности.

3.4. Защита сетей с изолированной нейтралью от замыканий на землю.

3.5. Поперечная дифференциальная токовая направленная защита параллельных линий.

3.6. Дифференциальная защита трансформатора.

3.7. Защиты синхронного генератора.

4. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ:

На лабораторных занятиях закрепляются теоретические знания студентов, полученные на лекциях, а также формируются навыки по выполнению испытаний и проверок устройств релейной защиты. При подготовке к выполнению лабораторных работ студенты изучают принципы действия и техническое выполнение уст-

роисств релейной защиты и производят расчеты параметров их настройки. В лаборатории производятся экспериментальные исследования и снимаются характеристики устройств релейной защиты.

В рамках часов отведенных эти занятия, могут быть выполнены следующие лабораторные работы:

- 4.1. Исследование реле тока, напряжения, времени, указательного промежуточного.
- 4.2. Исследование реле направления мощности, сопротивления.
- 4.3. Исследование различных схем включения трансформаторов тока и реле.
- 4.4. Исследование ступенчатой токовой защиты ЛЭП.
- 4.5. Исследование токовой защиты ЛЭП с ограниченно зависимой характеристикой выдержек времени.
- 4.6. Исследование токовой направленной защиты ЛЭП.
- 4.7. Исследование токовой защиты нулевой последовательности для сетей с изолированной нейтралью.
- 4.8. Исследование дистанционной защиты ЛЭП.
- 4.9. Исследование дифференциально-фазной защиты линий.
- 4.10. Исследование поперечной дифференциальной токовой направленной защиты параллельных ЛЭП.

5. КУРСОВАЯ РАБОТА

Целью курсового проекта является освоение, в основном – самостоятельно – принципов выбора аппаратуры и расчета параметров релейной защиты – определения уставок защит и реле, проверки на чувствительность, определения зоны действия. Обязательным приложением к пояснительной записке по курсовой работе является минимум один лист графической части.

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА

Включает изучение лекционного материала и литературы по дисциплине при подготовке к практическим и лабораторным занятиям а также активный поиск новой информации в Интернете по заданию лектора или руководителя практических занятий.

6.1. Темы индивидуальной работы студента

- Источники оперативного тока.
- Основные направления развития РЗ
- Фильтры симметричных составляющих
- Высокочастотные защиты
- Высокочастотная обвязка воздушных линий электропередачи
- Статические реле
- Защиты шин
- Схемы управления коммутационной аппаратурой
- УРОВ.

7. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

В процессе изучения дисциплины «Релейная защита и автоматизация» и «Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения» предусмотрены следующие виды промежуточного контроля знаний студентов:

- экспресс-опрос лектора по итогам изучения разделов курса;
- выполнение и защита отчетов по лабораторным работам.
- выполнение контрольных работ по темам, рассмотренным на практических занятиях.

8. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

2. Повреждения и ненормальные режимы элементов электроэнергетической системы – основные понятия, термины и определения, векторные диаграммы.
3. Назначение устройств релейной защиты. Требования к устройствам релейной защиты
4. Принципы построения устройств релейной защиты. Основные элементы
5. Оперативный ток. Назначение. Источники.
6. Защита электрических цепей плавкими предохранителями. Выбор и согласование плавких вставок. Преимущества и недостатки. Область применения.
7. Обеспечение селективности при защите участков электрической сети плавкими предохранителями
8. Защита электрических сетей автоматическими выключателями.
9. Электромеханические реле времени, промежуточные, указательные – назначение, основные элементы конструкции
10. Способы устранения вибрации электромагнитных реле, работающих на переменном токе
11. Схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и катушек реле. Коэффициент схемы.
12. Фильтры тока и напряжения нулевой последовательности
13. Фильтр напряжения обратной последовательности
14. Фильтр тока обратной последовательности
15. Максимальная токовая защита. Выбор уставок по току и времени. Схема МТЗ.
16. Токовая отсечка. Выбор уставок. Схема отсечки.
17. Токовая отсечка с выдержкой времени. Токовая трехступенчатая защита.
18. Способы повышения чувствительности токовых защит
19. МТЗ с пуском по напряжению.
20. МТЗ на линиях с двусторонним питанием.
21. Реле направления мощности.
22. Особенности работы токовых защит в кольцевых сетях
23. Дистанционные защиты. Область применения. Принцип работы.
24. Выбор уставок дистанционной защиты
25. Принцип выполнения реле сопротивления
26. Поперечная дифференциальная защита параллельных линий
27. Направленная поперечная дифференциальная защита параллельных линий – область применения, выбор уставок, особенности работы
28. Продольная дифференциальная защита элементов электрической сети: принципы организации защиты.
29. Способы повышения чувствительности продольной дифференциальной защиты.
30. Реле с торможением – назначение и принцип работы.
31. Дифференциальное реле с магнитным торможением
32. Работа сети с изолированной нейтралью в режиме замыкания фазы на землю.
33. Принципы организации защиты от замыканий на землю.
34. Трансформаторы тока нулевой последовательности. ТНП с подмагничиванием
35. Повреждения и ненормальные режимы генераторов
36. Основные защиты генераторов. Принципы действия защит
37. Односистемная поперечная дифференциальная защита статора генератора
38. Резервные защиты статора генератора
39. Защита ротора генератора
40. Повреждения и ненормальные режимы силовых трансформаторов
41. Продольная дифференциальная защита трансформаторов – особенности
42. Дифференциальная защита трансформаторов на реле с торможением
43. Выбор места включения тормозной обмотки
44. Газовая защита масляных трансформаторов
45. Резервные защиты трансформатора
46. Автоматическое повторное включение. Обоснование применения, основные требования, их реализация в схеме
47. Противоаварийная автоматика
48. Автоматический ввод резерва. Обоснование применения, основные требования, их реализация в схеме
49. Автоматическая частотная разгрузка. Область применения, основные требования
50. Делительная автоматика (АПХ, АЛАР). Область применения. Назначение
51. Понятие электрического центра системы

9. Учебно-методическая (технологическая) карта дисциплины
«Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения»

Номер недели	Номер темы	Вопросы изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые наглядные и методические пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			Пр.	Лаб.		содержание	час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Седьмой семестр								
1	1 2 2.1	<i>Введение</i> Технико-экономическая необходимость автоматизации управления единым процессом производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. Повреждения и ненормальные режимы в системах электроснабжения. Назначение устройства защиты и автоматики и телемеханизации: их элементы и функциональные части. Основные требования, предъявляемые к устройствам защиты, автоматики и телемеханики, их основные принципы действия - 2 часа. <i>Линейные и нелинейные измерительные преобразователи синусоидальных напряжений и токов</i> Первичные измерительные преобразователи тока и напряжения. Маркировка концов обмоток, векторные диаграммы и условия работы трансформаторов тока и напряжения. – 2 ч.			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос
2	2.2	Реакторы и трансформаторы. Магнитные усилители. Насыщающиеся трансформаторы тока. Фильтры симметричных составляющих тока и напряжения. – 2 ч.		4.1	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика ЭЭС. Часть 1.	Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
3	3 4 4.1	<i>Источники оперативного тока</i> Постоянный и переменный оперативный ток. Источники постоянного оперативного тока. Аккумуляторные батареи. Источники переменного тока (оперативного). Схемы с реле прямого действия. Схемы с дешунтированием электромагнитов отключения выключателей. Выпрямительные блоки питания. Использование энергии предварительно заряженных конденсаторов. Источники оперативного тока для полупроводниковых защит.– 2 ч. <i>Элементы устройств защиты и автоматики</i> Принцип действия и выполнение электромагнитных реле. Первичные реле прямого действия. Вторичные реле тока и напряжения прямого и косвенного действия. Электромагнитные логические реле, указательные реле. Индукционные измерительные реле тока, направление мощности, сопротивления, частоты.– 2ч			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	4.2	Микроэлектронная элементная база. Элементы логических операций. Схемы сравнения. Использование аналоговых микросхем. Области использования операционных усилителей: инвертирующий усилитель, неинвертирующий усилитель, дифференциальный усилитель, ноль-орган, компаратор, дифференцирующие и интегрирующие схемы, выпрямители. Использование логических интегральных микросхем. Микропроцессорная база. – 2 ч.		4.2	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1.	Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
5	5	<i>Защита и автоматика электрических сетей напряжением до 1000 В</i> Назначение и выполнение защиты сетей напряжением до 1000 В. Плавкие предохранители, выбор параметров, их чувствительность и селективность. Расцепители автоматических выключателей, их чувствительность и селективность. Защиты от однофазных коротких замыканий на землю в четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью. Устройства автоматического включения резерва в сетях напряжением до 1000 В. - 4 ч.			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Источники оперативного тока	2	Тест
6	6 6.1	<i>Релейная защита линий электропередач в сетях напряжением выше 1000 В</i> Виды повреждений и ненормальных режимов работы линий. Соотношение токов и напряжений с двух сторон силового трансформатора в случае возникновения повреждений на одной из них: максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени. Выбор параметров срабатывания и проверки чувствительности. – 2 ч.		4.3	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1.	Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
7	6.2 6.3	Схемы включения измерительных органов токов защиты: трехфазная схема с соединением трансформаторов тока и реле в полную звезду, двухфазная двух- и трехрелейная с соединением трансформаторов тока и реле в неполную звезду, двухфазная однорелейная схема с соединением трансформаторов тока в неполный треугольник и включением реле на разность токов двух фаз, трехфазная трехрелейная схема соединения трансформаторов тока в треугольник, а обмоток реле в звезду. Выполнение максимальной токовой защиты на переменном оперативном токе с независимой, ограниченно зависимой выдержкой времени. Токковые отсечки без выдержки времени и с выдержкой времени. Ступенчатая токовая защита. Неселективные токовые защиты в сочетании с АПВ. Токовая защита нулевой последовательности для сетей с глухозаземленными нейтралью. Максимальная токовая направ-			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос

	6.4	<p>ленная защита. Принцип действия.</p> <p>Выбор параметров срабатывания. Схема включения реле направления мощности. Токовая направленная отсечка. Схемы включения обмоток трансформаторов напряжения и реле.</p> <p>Защиты от замыкания на землю в сетях с изолированными или заземленными через дугогасящие реакторы нейтралями: общая сигнализация от замыкания на землю, токовая защита нулевой последовательности, направленная защита нулевой последовательности. – 4 ч</p>					
8	6.5 6.6	<p>Дистанционная защита. Принцип выполнения. Выбор параметров срабатывания защиты со ступенчатой характеристикой.</p> <p>Продольная и поперечная дифференциальные токовые защиты. Принципы их действия. Направленная дифференциальная токовая защита параллельных линий.–2ч</p>	4.4	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1.	Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
9	7 7.1 7.2	<p><i>Защита синхронных генераторов, работающих непосредственно на шины генераторного напряжения</i></p> <p>Виды повреждений и ненормальных режимов работы генераторов. Требования, предъявляемые к защите.</p> <p>Защита низковольтных генераторов. Защита высоковольтных генераторов мощностью до 1 МВт. Защита высоковольтных генераторов мощностью более 1 МВт.</p> <p>Продольная дифференциальная токовая защита. Разновидности схем продольных дифференциальных защит. Выбор параметров защиты и проверка ее чувствительности. Поперечная дифференциальная токовая защита обмотки статора. Выбор уставок защиты. Защита от замыканий обмотки статора на корпус. Принцип выполнения защиты. Выбор параметров срабатывания защиты с трансформатором тока нулевой последовательности, имеющим подмагничивание.</p> <p>Защита генераторов от сверхтоков внешних коротких замыканий и перегрузок. Разновидности защиты. Выбор уставок защиты и проверки ее чувствительности. Защита от перегрузок токами обратной последовательности.</p> <p>Защита от повышения напряжения.</p> <p>Защита ротора от замыкания на корпус в одной и во второй точках обмотки возбуждения. Защита ротора от перегрузки током возбуждения. Типовые схемы, параметры настройки.</p> <p>Устройство для гашения магнитного поля генератора. Противопожарные устройства. – 4 ч.</p>		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Фильтры симметричных составляющих	2	Тест

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	8 8.1	<i>Защита трансформаторов и автотрансформаторов</i> Виды повреждений и ненормальных режимов работы трансформаторов и автотрансформаторов. Особенности автотрансформаторов. Токовые защиты трансформаторов от внутренних и внешних коротких замыканий. Токовая отсечка. Токовая защита со ступенчатой характеристикой выдержки времени. Защита замыканий на землю понижающих трансформаторов.– 2 ч.		4.5	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1.	Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
11	8.2 8.3	Назначение и принцип действия дифференциальной защиты. Особенности дифференциальной защиты трансформаторов. Токи небаланса в дифференциальной защите трансформаторов. Меры для предупреждения действия защиты от токов небаланса. Токи намагничивания силовых трансформаторов при включении под напряжением. Способы предотвращения работы защиты от бросков тока намагничивания. Дифференциальная токовая отсечка. Дифференциальная защита с токовым реле, включенными через быстросыщающиеся трансформаторы. Дифференциальная защита с реле, имеющими торможение. Принцип действия газового реле и соответствующей защиты. Токовые защиты от внешних коротких замыканий. Максимальные токовые защиты. Токовая защита нулевой последовательности. Токовая защита с пуском по напряжению. Защита от внешних коротких замыканий на землю повысительных трансформаторов, работающих с заземленной нейтралью. Защита от перегрузки трансформаторов и автотрансформаторов. Защита трансформаторов, не имеющих выключателей на стороне питания. Защита трансформаторов высоковольтными предохранителями. Выбор предохранителей и согласование их характеристик с характеристиками релейной защиты питающих линий. Применение переменного оперативного тока в защите трансформаторов. Устройство реле для переменного оперативного тока. Назначение короткозамыкателей и отделителей.– 4 ч.			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	9 9.1	<i>Защита отдельных элементов электрических установок и электродвигателей</i> Релейная защита асинхронных двигателей. Общие требования к защите электродвигателей. Виды повреждений и ненормальных режимов работы асинхронных двигателей. Типы защит асинхронных двигателей. Токовая защита асинхронных двигателей от многофазных замыканий. Токовая и тепловая защита от сверхтоков. Дифференциальная токовая защита. Токовая защита нулевой последовательности. Минимальная защита напряжения.– 2 ч.		4.6	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1.	Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
13	9.2 10	Виды повреждений и ненормальных режимов синхронных двигателей. Типы защит синхронных двигателей. Защиты синхронных двигателей от несинхронной работы. Защита электродвигателей на переменном оперативном токе. Особенности защиты синхронных компенсаторов, батарей статических конденсаторов, выпрямительных агрегатов, преобразовательных установок и трансформаторов электропечных установок, шин и токопроводов. – 2 ч. <i>Автоматическое включение резервного питания и оборудования</i> Осуществление схем электроснабжения потребителей с односторонним питанием с целью снижения уровней токов коротких замыканий, упрощения релейной защиты, осуществления заданного режима по напряжению. Осуществление автоматического включения резерва /АВР/ с целью повышения надежности энергоснабжения потребителей в схемах с односторонним питанием. Общие принципы построения схем АВР. Назначение пусковых органов минимального напряжения и схемы их выполнения. Пусковой орган с реле частоты. Обеспечение однократности действия АВР. Ускорение действия релейной защиты после неуспешного АВР. Примеры схем АВР для сетей разного напряжения.– 2 ч			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	11	<p><i>Автоматическое повторное включение</i> Целесообразность применения устройств автоматического повторного включения /АПВ/ на линиях электропередачи. Трехфазное АПВ линий с односторонним питанием. АПВ на воздушных, кабельных и смешанных линиях. Однократность действия АПВ. Определение выдержки времени АПВ, АПВ линий, питающих подстанции без выключателей на стороне высшего напряжения. Особенности совместной работы АПВ и релейной защиты на линиях электропередачи. АПВ двукратного действия на линиях с односторонним питанием, АПВ шин и трансформаторов. Электрические схемы АПВ на постоянном и переменном оперативном токе. -2 ч</p>		4.7	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1., Часть 3	Подготовка к ЛР	1	Защита ЛР
15	12 13 13.1	<p><i>Автоматическая частотная разгрузка</i> Назначение автоматической частотной разгрузки /АЧР/. Схемы устройств АЧР с использованием реле частоты. Автоматическое повторное включение после автоматической частотной разгрузки /АПВ - ЧАПВ/. Делительные защиты на заводских электростанциях. – 2 ч. <i>Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин и напряжения на шинах подстанций</i> Влияние напряжения на качество электроэнергии. Способы изменения напряжения на шинах у потребителя. Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин. Устройство компаундирования и электромагнитный корректор напряжения. Назначение автоматического регулирования возбуждения синхронных машин. – 2 ч</p>			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос
16	13.2	<p>Форсировка возбуждения синхронных машин, схемы гашения поля синхронных машин. Стабилизация напряжения на подстанциях с нагрузкой переменной, обуславливающей быстрые и глубокие колебания напряжения, с помощью синхронных компенсаторов, оснащенных тиристорной системой возбуждения и АРВ сильного действия. Синхронизация генераторов. Автоматическое регулирование напряжения на подстанциях: изменение коэффициента трансформации под нагрузкой, отключение и включение батарей статических конденсаторов. Автоматическое отключение и включение трансформатора для уменьшения потерь энергии. - 2 ч.</p>		4.8	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1., Часть 3	Подготовка к ЛР	1	Защита ЛР

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Восьмой семестр								
1			3.1		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	2	
2						Выполнение КП	2	
3			3.2		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	4	Проверка токов КЗ
4						Выполнение КП	2	
5			3.3		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	2	
6						Выполнение КП	2	
7			3.4		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	4	Проверка расчетов защит
8						Выполнение КП	2	
9			3.5		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	2	
10						Выполнение КП	2	
11			3.6		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	4	Проверка листов гра- фики
12						Выполнение КП	2	
13			3.7		Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	2	
14						Выполнение КП	2	
15					Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и ав- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	6	Защита КП

10. ЛИТЕРАТУРА

Основная:

Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения.: Учебник для вузов / В.А. Андреев – 4-0е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 2006. – 639 с.

Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с.

Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.

Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.

Дополнительная:

Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита электрических систем. - М.: Энергоатомиздат, 1992. – 346 с.

Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита электроэнергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1998, - 800 с.

Окин А.А. Противоаварийная автоматика. – М.: Издательство МЭИ, 1995. – 206 с.

Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1. Электромеханические реле защиты: Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2002. – 88 с.

Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. Ун-та, 2007. – 158 с.

Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 3. Электроавтоматика: Лабораторный практикум. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. Ун-та, 2006. – 92 с.

Козлов А.Н., Ротачев Ю.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. Ун-та, 2006. – 120 с.

Пример задания на курсовой проект по первой части курса для специальности 140211:

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра энергетики

Задание на курсовой проект по дисциплине
"Релейная защита и автоматика систем электроснабжения"

Курс: четвертый
Специальность: 140211
Группа: 344
Студент:

Дата защиты курсового проекта:
15 мая 2007 г.

Исходные данные:

4. Схема Амурской электроэнергетической системы;
5. Данные о токах короткого замыкания на объектах энергосистемы;
6. Потоки мощности и уровни напряжения в сетях 110 кВ и выше энергосистемы.

Объем работы:

4. Для участка сети 220 кВ ПС «Тында» – ПС «Хорогочи» выбрать необходимые устройства релейной защиты и автоматики и рассчитать уставки этих устройств.
5. Рассчитать параметры релейной защиты трансформатора подстанции «Хорогочи».
6. Привести электрические схемы рассчитанных защит и устройств автоматики

Алгоритм выбора и расчета защит и устройств автоматики:

- В соответствии с ПУЭ произвести предварительный выбор защит.
- Из исходных данных выбрать необходимые токи КЗ и рассчитать недостающие параметры.
- Рассчитать уставки, проверить защиты по чувствительности, принять решение об установке, либо об отказе в установке защиты.

Задание подшивается в пояснительную записку после титульного листа. Исходные данные – в приложение к пояснительной записке.

Графическая часть курсового проекта (выполняется на двух листах формата А1): поясняющая схема, цепи тока и напряжения, оперативные цепи защит и устройств автоматики, сигнальные цепи, цепи отключения и схема управления выключателем. Лист 1 – защита линии; лист 2 - защита трансформатора.

Руководитель курсового проекта _____ Ротачева А.Г.

Релейная защита и автоматика систем электроснабжения.

Часть 2. Телемеханика в системах электроснабжения

Восьмой семестр.

ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС – (30 часов)

Тема 1. Введение. Основы теории передачи информации. Общие сведения о каналах связи (4 часа).

Предмет, цели и задачи курса и его связь с другими изучаемыми дисциплинами. Уровень телемеханики (ТМ) в энергетике. Информация и ее передача (общие положения и понятия). Виды информации передаваемой по системам телемеханики. Задачи разделения сигналов в каналах связи. Организация канала связи при передаче телемеханической информации. Первичное и вторичное уплотнение. Структурная схема канала связи.

Тема 2. Информационные потоки в телемеханических системах. Качество передачи информации по дискретным каналам связи (4 часа).

Характеристики информационных потоков и способов их передачи. Анализ передачи информационных потоков в телемеханических системах. Искажения двоичных сигналов. Достоверность передачи информации. Исправляющая способность приемников дискретных сигналов. Помехозащитные коды, используемые в телемеханических системах. Применение корректирующих кодов, циклических систем передачи информации и систем с обратной связью для повышения достоверности телемеханической передачи.

Тема 3. Системы телемеханики по линиям электропередачи (4 часа).

Общие сведения о каналах телемеханики по линиям электропередачи (ЛЭП). Функциональная схема канала связи по ЛЭП. Элементы высокочастотной обработки и присоединения к ЛЭП. Высокочастотные заградители, их типы, конструкции, схемы, технические данные. Конденсаторы связи, их типы, конструкции и технические данные. Общие сведения о фильтрах присоединения. Высокочастотные и низкочастотные каналы телемеханики.

Тема 4. Элементы и узлы устройств телемеханики, передачи данных и электронных устройств автоматики (4 часа).

Диодные и транзисторные элементы и узлы. Цифровые логические элементы. Микросхемные элементы. Триггеры на транзисторах и в микросхемном варианте. Генераторы импульсов на транзисторах. Шифраторы и дешифраторы. Компараторы. Резисторные преобразователи и распределители импульсов. Микропроцессорная техника в современных устройствах ТМ.

Тема 5. Системы телеизмерения (4 часа).

Основные принципы телеизмерения (ТИ). Виды телеизмерения. Классификация систем ТИ. Погрешности телеизмерения и способы их уменьшения. Аналоговые системы ТИ. Измерительные преобразователи. Вторичные приборы. Структурная схема частотной системы ТИ. Понятие о дискретных системах ТИ. Частотно-импульсные системы ТИ. Кодоимпульсные системы ТИ, их преимущества перед другими системами. Способы преобразования кодов в напряжение или ток. Структурная схема одноканального устройства ТИ кодоимпульсной системы.

Тема 6. Системы телеуправления, телесигнализации и телерегулирования (4 часа).

Классификация систем телеуправления-телесигнализации (ТУ-ТС). Принципы построения систем ТУ-ТС ближнего действия, частотных систем ТУ-ТС, временных систем ТУ-ТС. Синфазирование и синхронизация работы передающего и приемного устройства. Структурная схема временной системы ТУ-ТС. Понятие о системах телерегулирования.

Тема 7. Построение устройств телемеханики. Многофункциональные устройства телемеханики (2 часа).

Выбор структуры телемеханических комплексов и устройств. Устройство ТИ-ТС типа ТМ-800. Телекомплекс многоканального кодоимпульсного телемеханического устройства (МКТ-2 и МКТ-3). Система телемеханики типа ТМ-320 и ТМ-310. Устройство ТС-ТИ типа ТМ-511 и ТМ-512. Комплекс устройств телемеханики URSATRANS-4100. Аппаратура телемеханики с элементами оптоволоконной техники. Системы телемеханики с встроенными ЭВМ.

Тема 8. Системы телеобработки данных (2 часа).

Структура и назначение системы телеобработки данных. Сети передачи данных (СПД). Абонентский пункт передачи данных. Включение ЭВМ в сеть передачи данных. Особенности каналов передачи данных в энергосистемах. Модели, устройства уплотнения, каналы передачи данных, схемы переприема, регенеративные трансляции синхронного или старт-стопного типа используемые при организации СПД.

Тема 9. Надежность функционирования телемеханических систем (2 часа).

Критерии оценки надежности систем ТМ. Потери от отказов аппаратуры и каналов связи в телемеханической системе. Аналитический расчет надежности. Экспериментальные методы определения показателей надежности. Влияние организации эксплуатации оборудования на показатели надежности. Способы повышения надежности телемеханических систем.

2.2. Лабораторные занятия (15 часов)

Тематика лабораторных занятий в 8 семестре

№ п. п.	Наименование темы	Кол-во часов
1.	Инструктаж по Тб. Изучение правил работы в лабораториях Д и ТУ.	1
2.	Спектры сигналов. Способы модуляции несущих процессов.	2
3.	Способы кодирования информации.	2
4.	Вторичные измерительные преобразователи.	2
5.	Способы подключения ИП в действующих электроустановках.	2
6.	Электрический расчет и выбор частот каналов связи на ПК.	2
7.	Изучение устройства и работы диспетчерского пульта.	2
8.	Современные устройства телемеханики.	2

Цель проведения лабораторных занятий - научить студентов выбирать, проектировать и применять современные технические средства диспетчерского и технологического управления; уметь решать с их помощью задачи оперативно-диспетчерской деятельности.

2.3. Самостоятельная работа студентов.

Включает изучение лекционного материала и литературы по дисциплине при подготовке к лабораторным занятиям. Контроль за степенью усвоения материала рекомендуется осуществлять с помощью вопросов для самопроверки. На коллоквиумах предусмотрена сдача первой и второй части теоретического материала. Объем и формы контроля самостоятельной работы приведены в соответствии в п.4 и Приложениях 2,3.

2.4. Перечень и темы промежуточных форм контроля знаний.

К промежуточным формам контроля знаний относятся:

- блиц-опрос на лекциях по пройденному материалу;
- контрольные работы;
- выполнение индивидуальных домашних заданий с последующей их защитой;
- 2 коллоквиума;
- комплексные задания по разработке системы телемеханики.

2.5. Вопросы к зачету:

Вопросы к зачету приведены в Приложении 1.

3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1. Основная литература

1. Митюшкин К.Г. Телеконтроль и телеуправление в энергосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1990, 288 с.
2. Автоматизация электроэнергетических систем: Учебное пособие для вузов/ О.П. Алексеев, В.Л. Козис, В.В. Кривенков и др.; Под ред. В.П. Морозкина и Д.Энгелаге. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 448 с.
3. Ю.В. Мясоедов. Альбом схем и диаграмм по дисциплине «Телемеханика и средства связи». Уч.-мет. Пособие, Благовещенск, Изд-во АмГУ, 1999.

3.2. Дополнительная литература

1. Тутевич В.Н. Телемеханика. М.: Высшая школа, 1985, 424 с.
2. Забегалов В.А., Орнов В.Г., Семенов В.А. Автоматизированные системы диспетчерского управления в энергосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1984. 264 с.
3. Бурденков Г.В., Малышев А.И., Лурье Я.В. Автоматика, телемеханика и передача данных в энергосистемах. -М.: Энергоатомиздат, 1988.
4. В.Х. Ишкин. Волоконно-оптические системы связи. М.: Изд-во НТФ «Энергопрогресс», 1999.
5. Соскин Э.А., Киреева Э.А. Автоматизация управления промышленным энергоснабжением. -М.: Энергоатомиздат, 1990.
6. Микуцкий Г.В., Скитальцев В.С. Высокочастотная связь по линиям электропередачи. -М.: Энергоатомиздат, 1987.

7. Справочник по проектированию систем передачи информации в энергетике (Под ред. В.Х. Ишкина). М.: Энергоатомиздат, 1991.
8. Основы автоматизации : пер. с нем. / П. Вольфрам, И. Адамски, Б. Анденрс и др.; Под ред. Г.В. Королева.-М.: Высш.шк., 1990.

3.3. Перечень методических и наглядных материалов, используемых в учебном процессе

3.3.1. Методические пособия

1. Ю.В. Мясоедов. Альбом схем и диаграмм по дисциплине «Телемеханика и средства связи». Уч.-мет. Пособие, Благовещенск, Изд-во АмГУ, 1999.
2. Автоматизация электроэнергетических систем: Учебное пособие для вузов/ О.П. Алексеев, В.Л. Козис, В.В. Кривенков и др.; Под ред. В.П. Морозкина и Д.Энгелаге. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 448 с.
3. Ю.В. Мясоедов. Сборник лабораторных работ по дисциплине «Технические средства диспетчерского и технологического управления». Электронный вариант.

3.3.2. Наглядные пособия

В качестве методического и наглядного обеспечения дисциплины “Технические средства диспетчерского и технологического управления” используются:

- таблицы, схемы, рисунки под медиа-комплекс (АТК);
- альбом схем и диаграмм по дисциплине "Средства телемеханики и связи";
- комплекты индивидуальных заданий;
- инструкции по работе на тренажере диспетчера;
- задания на ведение диспетчером нормальных режимов и ликвидации аварийных ситуаций;
- тренажер диспетчера энергосистемы;
- компьютерный тренажер «Модус»;
- лабораторный оперативно-информационный комплекс «Телемеханика и связь в распределительных сетях».

3.3.3. Программы для ПЭВМ

1. Компьютерный тренажер Тренэнерго «Советчик диспетчера».
2. Компьютерный тренажер «Модус»

3.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Специализированная учебная лаборатория по техническим средствам диспетчерского и технологического управления. Компьютерный класс.

4. Учебно-методическая (технологическая) карта дисциплины

Номер недели	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые нагляд. и метод. пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			практич. (семин.)	лабор.		содерж.	часы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	Предмет, цели и задачи курса и его связь с другими изучаемыми дисциплинами. Уровень телемеханики (ТМ), диспетчерского и технологического управления (ДУ и ТУ) в энергетике.		1	Митюшкин К.Г. Телеконтроль и телеуправление в энергосистемах			блиц-опрос
2	1	Информация и ее передача (общие положения и понятия). Виды информации передаваемой по системам телемеханики. Задачи разделения сигналов в каналах связи. Организация канала связи при передаче телемеханической информации. Первичное и вторичное уплотнение. Структурная схема канала связи.			Митюшкин К.Г. Телеконтроль и телеуправление в энергосистемах	Расчет кол-ва информации и пропускной способности каналов связи	1	блиц-опрос

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	2	Характеристики информационных потоков и способов их передачи. Анализ передачи информационных потоков в телемеханических системах. Искажения двоичных сигналов. Достоверность передачи информации. Исправляющая способность приемников дискретных сигналов.		2	Тутевич В.Н. Телемеханика. М.: Высшая школа, 1985	Элементы канала связи	1	блиц-опрос
4	2	Помехозащитные коды, используемые в телемеханических системах. Применение корректирующих кодов, циклических систем передачи информации и систем с обратной связью для повышения достоверности телемеханической передачи.			Тутевич В.Н. Телемеханика. М.: Высшая школа, 1985	Виды квантования, погрешность квантования	1	защита индивидуальных домашних заданий
5	3	Общие сведения о каналах телемеханики по линиям электропередачи (ЛЭП). Функциональная схема канала связи по ЛЭП. Элементы высокочастотной обработки и присоединения к ЛЭП.		3	Микуцкий Г.В., Скитальцев В.С. ВЧ связь по линиям электропередачи В.Х. Ишкин. Волоконно-оптические системы связи	Информационные потоки и их достоверность	1	блиц-опрос
6	3	Высокочастотные заградители, их типы, конструкции, схемы, технические данные. Конденсаторы связи, их типы, конструкции и технические данные. Общие сведения о фильтрах присоединения. Высокочастотные и низкочастотные каналы телемеханики.			Справочник по проектированию систем передачи информации в энергетике (Под ред. В.Х. Ишкина)	Информационные потоки и их достоверность	2	блиц-опрос, коллоквиум
7	4	Диодные и транзисторные элементы и узлы. Цифровые логические элементы. Микросхемные элементы. Триггеры на транзисторах и в микросхемном варианте. Генераторы импульсов на транзисторах.		4	Г.В.Бурденков, А.И.Мальшев, Я.В.Лурье Автоматика, телемеханика и передача данных в энергосистемах	Коды Хэмминга	2	блиц-опрос
8	4	Шифраторы и дешифраторы. Компараторы. Резисторные преобразователи и распределители импульсов. Микропроцессорная техника в современных устройствах ТМ.			Г.В.Бурденков, А.И.Мальшев, Я.В.Лурье Автоматика, телемеханика и передача данных в энергосистемах	Схема «фаза-земля»	1	контрольная работа
9	5	Основные принципы телеизмерения (ТИ). Виды телеизмерения. Классификация систем ТИ. Погрешности телеизмерения и способы их уменьшения. Аналоговые системы ТИ. Измерительные преобразователи. Вторичные приборы. Структурная схема частотной системы ТИ.		4	Справочник по проектированию систем передачи информации в энергетике (Под ред. В.Х. Ишкина)	Схемы «фаза-фаза», «2 фазы-фаза»	1	блиц-опрос
10	5	Понятие о дискретных системах ТИ. Частотно-импульсные системы ТИ. Кодоимпульсные системы ТИ, их преимущества перед другими системами. Способы преобразования кодов в напряжение или ток. Структурная схема одноканального устройства ТИ кодоимпульсной системы.			Соскин Э.А., Киреева Э.А. Автоматизация управления промышленным энергоснабжением	Схемы ДП и КП	2	блиц-опрос
11	6	Классификация систем телеуправления-телесигнализации (ТУ-ТС). Принципы построения систем ТУ-ТС ближнего действия, частотных систем ТУ-ТС, временных систем ТУ-ТС. Синфазирование и синхронизация работы передающего и приемного устройства.		5	Г.В.Бурденков, А.И.Мальшев, Я.В.Лурье Автоматика, телемеханика и передача данных в энергосистемах			контрольная работа
12	6	Структурная схема временной системы ТУ-ТС. Понятие о системах телерегулирования.			Г.В.Бурденков, А.И.Мальшев, Я.В.Лурье Автоматика, телемеханика и передача данных в энергосистемах			блиц-опрос
13	7	Выбор структуры телемеханических комплексов и устройств. Устройство ТИ-ТС. Телекомплекс многоканального кодоимпульсного телемеханического устройства. Система телемеханики типа ТМ. Устройство ТС-ТИ. Комплекс устройств телемеханики		6	Справочник по проектированию систем передачи информации в энергетике (Под ред. В.Х. Ишкина)	Харак-ка МП систем	1	блиц-опрос

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	8	Структура и назначение системы телеобработки данных. Сети передачи данных (СПД). Абонентский пункт передачи данных в энергосистемах. Модемы, устройства уплотнения, каналы передачи данных, схемы приема.			Ю.В. Мясоедов. Альбом схем и диаграмм по дисциплине «Телемеханика и средства связи».	Погрешности телеизмерений	1	блиц-опрос, коллоквиум
15	9	Критерии оценки надежности систем ТМ. Потери от отказов аппаратуры и каналов связи в телемеханической системе. Аналитический расчет надежности. Экспериментальные методы определения показателей надежности. Влияние организации эксплуатации оборудования на показатели надежности. Способы повышения надежности телемеханических систем.		6	Соскин Э.А., Киреева Э.А. Автоматизация управления промышленным энергоснабжением	Операции по модулю 2	1	защита индивидуальных домашних заданий

Вопросы к зачету.

1. Что называется системой телемеханики (ТМ), основные понятия.
2. Условные обозначения объема телемеханики на однолинейных схемах.
3. Структурные схемы систем телемеханики.
4. Функции систем телемеханики: телеуправление (ТУ), телерегулирование (ТР), телесигнализация (ТС), телеизмерение (ТИ).
5. Основные системы ТМ применяемые в сетях 0,4-10 кВ.
6. Определение телеизмерения, основные телеизмеряемые величины в энергетике.
7. Функциональная схема ТИ.
8. Две группы сигналов для систем телесигнализации.
9. Погрешности тракта при передаче телеизмерений.
10. Сущность телеизмерений.
11. Устройство частотомера.
12. Устройство датчиков тока, напряжения, мощности.
13. Преобразователи вращения в частоту.
14. Измерительные преобразователи в системах ТИ.
15. Два способа телерегулирования.
16. Линия связи и каналы связи.
17. Пропускная способность каналов связи (КС).
18. Структурные схемы организации каналов связи.
19. Дискретные каналы ТМ.
20. Работа канала ТМ с амплитудной модуляцией (АМ). Достоинства и недостатки.
21. Осциллограммы АМ сигналов и спектр частот АМ колебаний.
22. Каналы ТМ с частотной модуляцией (ЧМ). Основные достоинства и недостатки.
23. Осциллограммы импульсной последовательности ЧМ колебаний и спектры частот (составляющие, индекс модуляции).
24. Каналы ТМ с фазовой модуляцией.
25. Каналы ТМ с относительной фазовой модуляцией.
26. Осциллограммы сигналов при фазовой и относительной фазовой модуляции.
27. Работа источника опорного сигнала, способы получения опорного сигнала.
28. Преимущества организации каналов ТМ по ЛЭП.
29. Структура деления каналов ТМ по ЛЭП (по частоте).
30. Сложный ВЧ канал и его составляющие. Линейный высокочастотный тракт.
31. Групповое устройство ТМ, область применения и назначение.
32. Режим работы групповых усилителей. Особенности организации каналов ТМ.
33. Низкочастотные каналы ТМ.
34. Каналы ТМ в сетях 0,4-10 кВ и их характеристика.
35. Схема образования канала ТМ по ЛЭП (фаза-земля).
36. Схема образования канала ТМ по ЛЭП (фаза-фаза).
37. Схема образования канала ТМ по ЛЭП (2 фазы-фаза).
38. Схема образования канала ТМ по ЛЭП (3 фазы-земля).
39. Схема образования канала ТМ по ЛЭП (3 фазы).
40. Схема подключения модема (фаза-фаза) на контролируемом пункте (КП).
41. Схема подключения модема (2 фазы-фаза) на контролируемом пункте (КП).
42. Схема подключения модема (3 фазы) на контролируемом пункте (КП).
43. Схема подключения модема (3 фазы-земля) на контролируемом пункте (КП).
44. Схема подключения модема (3 фазы) на пункте управления (ПУ).
45. Схема подключения модема (3 фазы-земля) на пункте управления (ПУ).
46. Схема подключения модема (2 фазы-фаза) на пункте управления (ПУ).
47. Схема подключения модема (фаза-фаза) на пункте управления (ПУ).
48. Назначение аппаратуры, входящей в высокочастотный (ВЧ) канал связи.
49. Информационные параметры модема.
50. Основные элементы модема передачи, его схема и работа.
51. Основные элементы модема приема, его схема и работа.
52. Теория передачи информации.
53. Структурная схема передачи информации.
54. Классификация информационных сигналов.
55. Признаки деления информационных сигналов.
56. Определение количества передаваемой информации
57. Импульсные признаки сигналов.

58. Квантование по амплитуде.
59. Квантование по времени.
60. Квантование по уровню и времени.
61. Модуляция и демодуляция.
62. Виды модуляции сигналов.
63. Амплитудный детектор.
64. Частотный детектор.
65. Работа ограничителя максимальных амплитуд.
66. Кодирование информации.
67. Виды выполняемых операций по модулю 2.
68. Помехи и помехоустойчивость. Общие понятия.
69. Характер мультипликативных помех.
70. Классификация мультипликативных помех.
71. Характер аддитивных помех.
72. Классификация аддитивных помех.
73. Меры по повышению помехоустойчивости передаваемой информации.
74. Корректирующие и помехозащитные коды. Общие сведения.
75. Разделимые блочные коды. Код с четным количеством единиц.
76. Код с проверкой на четность.
77. Код с постоянным весом.
78. Коды Хемминга. Код с кодовым расстоянием равным трем.
79. Системы с повторением передачи информации.
80. Системы ТМ с обратной связью.

Задание на зачет.

Для предложенной преподавателем схемы объекта (электростанции, подстанции, электрических сетей предприятий или энергосистем) разработать систему телемеханики согласно приведенного ниже перечня вопросов.

1. Выбрать необходимые компоненты системы ТМ (ТС, ТУ, ТИ, ТР) для дальнейшей разработки.
2. Выбрать места установки средств ТМ (указать на предложенной преподавателем схеме объекта).
3. Выбрать систему ТМ в зависимости от объекта (ВЧ или НЧ). Показать организацию каналов ТМ.
4. Выбрать первичный сигнал и показать его характер.
5. Выбрать каналы связи, их структуру, привести схему канала ТМ в зависимости от характера первичного сигнала и методов его преобразования.
6. Привести характер или схему преобразования сигнала.
7. Определить необходимое количество передаваемой информации по каналам связи и пропускную способность канала связи.
8. определить влияние возможных помех, предложить методы их устранения.
9. Выбрать модемы ТМ. Показать их функциональные схемы, характеристики и пояснить принципы работы.
10. Описать используемую аппаратуру в системе ТМ.
11. Привести блок-схему алгоритма функционирования блока управления или передачи для устройств ТУ, ТС, ТИ.

Вопросы к коллоквиуму №1.

№1

Диапазон сигналов НЧ каналов ТМ и особенности их применения
 Определение ТИ. Основные ТИ величины. Особенности при их измерении
 Амплитудный детектор
 Работа ОМА
 КТМ по ЛЭП “фаза-”земля”
 Структуры каналов связи

№2

Сущность ТИ
 Модуляция и демодуляция
 Структурные схемы систем ТМ
 Кодирование
 КТМ с АМ
 Деление каналов по частотам

№3

Погрешности при передаче ТИ
 Функции систем ТМ: ТУ, ТР, ТС, ТИ
 Работа ИОС при ФМ
 Квантование по уровню и времени
 Условные обозначения ТМ на схемах
 КТМ с ОФМ

№4

Линия связи и канал связи
 Осциллограммы импульсной последовательности ЧМ колебаний, спектры частот
 Импульсные признаки сигналов
 Что называется системой ТМ. Основные понятия
 Виды модуляции
 КТМ с ЧМ

№5

Квантование по амплитуде
 КТМ с ФМ. Осциллограммы сигналов при ФМ
 Осциллограммы АМ колебаний, спектры
 Дискретные каналы ТМ
 Частотные детекторы
 Количество передаваемой информации

№6

Квантование по времени
 Информационные параметры модема
 Два способа телерегулирования. Две группы сигналов ТС
 Осциллограммы сигналов при ОФМ
 Пропускная способность каналов связи
 Преимущества КТМ по ЛЭП

№7

ИП в системах ТИ
 Особенности организации групповых каналов ТМ
 Система ТУ-ТС ближнего действия
 Схема подключения модема КП “фаза-фаза”
 Частотно-импульсная система ТИ

№8

Погрешности при передаче ТИ
 Схема подключения модема ПУ “три фазы-земля” и его работа
 Подключение ИП
 Кодо-импульсная система ТИ
 Функциональная схема КТМ “две фазы-фаза”

Вопросы к коллоквиуму №2.

№1

Высокочастотная аппаратура. Особенности применения и работы
Диапазон сигналов НЧ каналов ТМ и особенности их применения
Определение ТИ. Основные ТИ величины. Особенности при их измерении
Схема подключения модема КП “две фазы-фаза” и его работа
Функциональная схема КТМ “грозозащитный трос-земля”

№2

Частотомер
Каналы ТМ в сетях 0.4-10 кВ, их характеристика
Схема подключения модема ПУ “две фазы-фаза” и его работа
Функциональная схема КТМ “три фазы-земля”
Частотная система ТУ-ТС с прямым избиранием

№3

Преобразователи частоты вращения в сигнал
Основные элементы НЧ модема передачи. Их схема и работа
Устройство и принцип действия ПУ511
Функциональная схема КТМ “фаза-фаза”
Частотная система ТУ-ТС с кодовым избиранием

№4

Схема подключения модема КП “три фазы”
Временная система ТУ-ТС
Основные элементы НЧ модема приема. Их схема и работа
Устройство и принцип действия КП512
Функциональная схема ТИ

№5

Схема подключения модема КП “три фазы-земля”
Режим работы групповых усилителей. Особенности организации каналов ТМ
Система ТИ ближнего действия
Устройство и принцип действия КП511
Сущность ТИ

№6

Схема подключения модема ПУ “фаза-фаза”
Групповое устройство ТМ. Назначение и область применения
Преобразователь тока, напряжения, мощности
Классификация систем ТУ-ТС
Частотная система ТИ

№7

Какие системы ТМ используются в распредел. сетях 0.4-10 кВ ЭЭС, СЭС и эл.станциях
Классификация систем ТИ
Основные требования к организации систем ТУ-ТС
Система ТИ с временным разделением сигналов
Функциональная схема КТМ “три фазы”

№8

Время-импульсная система ТИ
Реверсивные и нереверсивные ИП, область применения
Схема подключения модема ПУ “три фазы”
Устройство и принцип действия ПУ512
Функциональная схема КТМ “фаза-земля”

2.1.2. Рабочая программа дисциплины

- Учебно-методическая (технологическая) карта дисциплин «Релейная защита и автоматизация» и «Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения» для специальностей 140205, 140211, заочная форма обучения

Курсивом выделены темы, изучаемые студентами самостоятельно

Номер недели	Номер темы	Вопросы изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые наглядные и методические пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			Пр.	Лаб.		содержание	час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пятый курс								
1	1 2	<i>Введение Линейные и нелинейные измерительные преобразователи синусоидальных напряжений и токов</i>					6	
2	3	<i>Фильтры симметричных составляющих тока и напряжения.</i>					6	
3	4.1	<i>Источники оперативного тока Элементы устройств защиты и автоматики</i>					6	
4	4.2	<i>Микроэлектронная элементная база. Элементы логических операций. Схемы сравнения.</i>					6	
5	5	<i>Защита и автоматика электрических сетей напряжением до 1000 В. Плавкие предохранители, выбор параметров. Расцепители автоматических выключателей, их чувствительность и селективность. Защиты от однофазных коротких замыканий на землю в четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью. Устройства автоматического включения резерва в сетях напряжением до 1000 В. – 1 ч.</i>	3.2	4.1	Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем		8	Защита ЛР
6	6 6.1	<i>Релейная защита линий электропередач в сетях напряжением выше 1000 В Виды повреждений и ненормальных режимов работы линий. Соотношение токов и напряжений с двух сторон силового трансформатора в случае возникновения повреждений на одной из них: максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени. Выбор параметров срабатывания и проверки чувствительности. – 1 ч.</i>			Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика ЭЭС. Часть 1.		8	
7	6.2 6.3	<i>Схемы включения измерительных органов токов защиты Ступенчатая токовая защита. Неселективные токовые защиты в сочетании с АПВ. Токовая защита нулевой последовательности для сетей с глухозаземленными нейтралью. Максимальная токовая направленная защита. Принцип действия.</i>					8	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
8	6.4	Дистанционная защита. Принцип выполнения. Выбор параметров срабатывания защиты со ступенчатой характеристикой. Продольная и поперечная дифференциальные токовые защиты. Принципы их действия. Направленная дифференциальная токовая защита параллельных линий. – 1 ч	3.3	4.2	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1. Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 3.	Подготовка к ЛР	6	Защита ЛР	
9	7	<i>Защита синхронных генераторов, работающих непосредственно на шины генераторного напряжения</i>					6		
10	8 8.1	<i>Защита трансформаторов и автотрансформаторов</i> Виды повреждений и ненормальных режимов работы трансформаторов и автотрансформаторов. Особенности автотрансформаторов. Назначение и принцип действия дифференциальной защиты. Особенности дифференциальной защиты трансформаторов. - 2 ч.	3.6				8		
11	8.2	<i>Дифференциальная защита с реле, имеющими торможение. Принцип действия газового реле и соответствующей защиты.</i>					6		
12	9 9.1	<i>Защита отдельных элементов электрических установок и электродвигателей</i> Релейная защита асинхронных двигателей. Общие требования к защите электродвигателей. Виды повреждений и ненормальных режимов работы асинхронных двигателей. Типы защит асинхронных двигателей. Токовая защита асинхронных двигателей от многофазных замыканий. Токовая и тепловая защита от сверхтоков. Дифференциальная токовая защита. Токовая защита нулевой последовательности. Минимальная защита напряжения. – 1 ч.					6		
13	10	<i>Автоматическое включение резервного питания и оборудования</i>					2		
14	11	<i>Автоматическое повторное включение</i>					2		
15	12	<i>Автоматическая частотная разгрузка</i> <i>Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин и напряжения на шинах подстанций</i>					2		
16	13	<i>Форсировка возбуждения синхронных машин, схемы гашения поля синхронных машин.</i>					2		
Выполнение курсового проекта									
1						Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	<i>Выполнение КП</i>	2	
2							<i>Выполнение КП</i>	2	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3					Козлов А.Н., Ротачев Ю.А. Релейная защита и автоматика .	Выполнение КП	4	
4				Выполнение КП		2		
5				Выполнение КП		2		
6				Выполнение КП		2		
7				Выполнение КП		4		
8				Выполнение КП		2		
9				Выполнение КП		2		
10				Выполнение КП		2		
11				Выполнение КП		4		
12				Выполнение КП		2		
13				Выполнение КП		2		
14				Выполнение КП		2		
15				Выполнение КП		6	Защита КП	

2.1.2. Рабочая программа дисциплины

- Учебно-методическая (технологическая) карта дисциплин «Релейная защита и автоматизация» и «Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения» для специальностей 140205, 140211, заочная ускоренная форма обучения

Курсивом выделены темы, изучаемые студентами самостоятельно

Номер недели	Номер темы	Вопросы изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые наглядные и методические пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			Пр.	Лаб.		содержание	час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Третий год обучения								
1	1 2	<i>Введение Линейные и нелинейные измерительные преобразователи синусоидальных напряжений и токов</i>			Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем		6	
2	3	<i>Фильтры симметричных составляющих тока и напряжения.</i>					6	
3	4.1	<i>Источники оперативного тока Элементы устройств защиты и автоматики</i>					6	
4	4.2	<i>Микроэлектронная элементная база. Элементы логических операций. Схемы сравнения.</i>					6	
5	5	<i>Защита и автоматика электрических сетей напряжением до 1000 В. Плавкие предохранители, выбор параметров. Расцепители автоматических выключателей, их чувствительность и селективность. Защиты от однофазных коротких замыканий на землю в четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью. Устройства автоматического включения резерва в сетях напряжением до 1000 В. – 2 ч.</i>	3.2	4.1	Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика ЭЭС. Часть 1.		8	Защита ЛР
6	6 6.1	<i>Релейная защита линий электропередач в сетях напряжением выше 1000 В Виды повреждений и ненормальных режимов работы линий. Соотношение токов и напряжений с двух сторон силового трансформатора в случае возникновения повреждений на одной из них; максимальная токовая защита с независимой</i>					8	

		выдержкой времени. – 2 ч.						
--	--	---------------------------	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	6.2 6.3	Схемы включения измерительных органов токов защиты. Ступенчатая токовая защита. Неселективные токовые защиты в сочетании с АПВ. Токовая защита нулевой последовательности для сетей с глухозаземленными нейтральными. Максимальная токовая направленная защита. Принцип действия.			Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1. Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем		8	
8	6.4	Дистанционная защита. Принцип выполнения. Выбор параметров срабатывания защиты со ступенчатой характеристикой. Продольная и поперечная дифференциальные токовые защиты. Принципы их действия. Направленная дифференциальная токовая защита параллельных линий.– 2 ч	3.3	4.2		Подготовка к ЛР	6	Защита ЛР
9	7	Защита синхронных генераторов, работающих непосредственно на шины генераторного напряжения					6	
10	8 8.1	Защита трансформаторов и автотрансформаторов Виды повреждений и ненормальных режимов работы трансформаторов и автотрансформаторов. Особенности автотрансформаторов. Назначение и принцип действия дифференциальной защиты. Особенности дифференциальной защиты трансформаторов. - 4 ч.	3.6				8	
11	8.2	Дифференциальная защита с реле, имеющими торможение. Принцип действия газового реле и соответствующей защиты.					6	
12	9 9.1	Защита отдельных элементов электрических установок и электродвигателей Релейная защита асинхронных двигателей. Общие требования к защите электродвигателей. Виды повреждений и ненормальных режимов работы асинхронных двигателей. Типы защит асинхронных двигателей. Токовая защита асинхронных двигателей от многофазных замыканий. Токовая и тепловая защита от сверхтоков. Дифференциальная токовая защита. Токовая защита нулевой последовательности. Минимальная защита напряжения.– 2 ч.					6	
13	10	Автоматическое включение резервного питания и оборудования					2	
14	11	Автоматическое повторное включение					2	
15	12	Автоматическая частотная разгрузка Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин и напряжения на шинах подстанций					2	
16	13	Форсировка возбуждения синхронных машин, схемы гашения поля синхронных машин.					2	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Выполнение курсового проекта								
1					Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и авто- томатика элек- трических систем	Выполнение КП	2	
2						Выполнение КП	2	
3						Выполнение КП	4	
4						Выполнение КП	2	
5						Выполнение КП	2	
6						Выполнение КП	2	
7						Выполнение КП	4	
8						Выполнение КП	2	
9						Выполнение КП	2	
10						Выполнение КП	2	
11					Козлов А.Н., Ротачев Ю.А. Релейная за- щита и авто- матика.	Выполнение КП	4	
12						Выполнение КП	2	
13						Выполнение КП	2	
14						Выполнение КП	2	
15						Выполнение КП	6	Защита КП

2.1.3. График самостоятельной работы студентов (очная форма обучения):

Номер недели	Содержание	Объем в часах	Форма контроля	Сроки контроля
Седьмой семестр				
1	2	3	4	5
1	Изучение материала лекции	1		
2	Подготовка к практическому занятию «Токовые защиты в сетях с одним источником питания»	1		
3	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос	На текущей неделе
4	Подготовка к практическому занятию «Токовые направления защиты для сетей с двусторонним питанием и кольцевых сетей»	2	Обсуждение задачи	На текущей неделе
5	Изучение материала лекции	2	Тест	На текущей неделе
6	Подготовка к практическому занятию «Дистанционная защита линий»	2	Обсуждение задачи	На текущей неделе
7	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос	На текущей неделе
8	Подготовка к практическому занятию «Резервные защиты линий»	2	Обсуждение задачи	На текущей неделе
9	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос	На текущей неделе
10	Подготовка к практическому занятию «Токовая защита линий нулевой последовательности»	2	Обсуждение задачи	На текущей неделе
11	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос Тест	На текущей неделе
12	Подготовка к практическому занятию «Защита сетей с изолированной нейтралью от замыканий на землю»	2	Обсуждение задачи	На текущей неделе
13	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос	На текущей неделе
14	Подготовка к практическому занятию «Поперечная дифференциальная токовая направленная защита параллельных линий»	2	Обсуждение задачи	На текущей неделе
15	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос Тест	На текущей неделе
16	Подготовка к практическому занятию «Дифференциальная защита трансформатора»	2	Обсуждение задачи	На текущей неделе

1	2	3	4	5
Восьмой семестр				
1	Выполнение КП	2		
2	Выполнение КП	2		
3	Выполнение КП	2		
4	Выполнение КП	4	Проверка расчетов	На текущей неделе
5	Выполнение КП	2		
6	Выполнение КП	2		
7	Выполнение КП	4	Проверка расчетов	На текущей неделе
8	Выполнение КП	2		
9	Выполнение КП	2		
10	Выполнение КП	4	Проверка расчетов	На текущей неделе
11	Выполнение КП	2		
12	Выполнение КП	2		
13	Выполнение КП	4	Проверка листов графики	На текущей неделе
14	Выполнение КП	6	Защита КП	

2.1.4. Методические рекомендации по проведению практических занятий.

Практическое занятие проводится по следующему плану:

- тема занятия доводится до сведения студентов заблаговременно, на занятия они должны прийти, проработав соответствующий раздел либо по материалам лекций, либо самостоятельно;
- путем выборочного опроса выясняется степень усвоения основных требований к соответствующему устройству автоматики и путей реализации этих требований; разбираются допущенные ошибки и неточности;
- в аудитории решается типовой пример;
- дается индивидуальная задача для самостоятельного решения.

При подготовке к занятиям рекомендуется пользоваться следующей литературой:

1. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. Ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с.
2. Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. Ун-та, 2007. – 158 с.
3. Козлов А.Н., Ротачев Ю.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2006. – 120 с.
4. Фабрикант В.Л., и др. Задачник по релейной защите. – М.: Высшая школа, 1971. – 608 с.

2.1.5. Методические рекомендации по проведению лабораторных работ.

При проведении лабораторных работ рекомендуется придерживаться следующего плана:

- перед выполнением работы студенты сдают краткую теорию по выполняемой лабораторной работе;
- после получения допуска выполняется экспериментальная часть работы;
- производится обработка полученных результатов, оформляется отчет и делаются выводы по проделанной работе;
- лабораторная работа защищается перед преподавателем.

Перед проведением цикла лабораторных работ студенты получают инструктаж по соблюдению техники безопасности и правилам работы с аппарату-

рой лаборатории с обязательным оформлением инструктажа в журнале по ТБ (должна быть личная подпись каждого студента).

При подготовке к занятиям рекомендуется пользоваться следующей литературой:

1. Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1. Электромеханические реле защиты: Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2002. – 88 с.

2. Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 3. Электроавтоматика: Лабораторный практикум. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2006. – 92 с.

3. Барзам А.Б., Пояркова Т.М. Лабораторные работы по релейной защите и автоматике. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 256 с.

2.1.6. Краткий конспект лекций.

1. Основные требования, предъявляемые к устройствам релейной защиты

При изучении данной темы особое внимание следует обратить на определение понятий селективности, быстродействия, чувствительности и надежности релейной защиты. Разобраться в терминах «абсолютная селективность» и «относительная селективность», «короткое замыкание на защищаемом элементе» и «внешнее короткое замыкание»; уяснить взаимосвязь между селективностью и быстродействием устройств защиты. Опираясь на эту информацию – разобраться, как осуществляется резервирование устройств релейной защиты при отключении повреждений в электрических сетях и на отдельных элементах, образующих электроэнергетическую систему.

2. Виды повреждений и ненормальных режимов электрооборудования

Понятие повреждения. Векторные диаграммы токов и напряжений при разных видах КЗ. Отличие соотношений токов и напряжений в месте повреждения и в месте установки защиты. Угол КЗ и его величина при замыканиях в сетях разного уровня напряжения. Однофазные и двойные замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью: векторная диаграмма токов и напряжений, угол КЗ. Базовая информация по этой теме была получена при изучении дисциплины «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах и системах электроснабжения».

Виды ненормальных режимов в электросетях: перегрузки оборудования, вызванные сверхтоками; повышение напряжения; качания; отклонения частоты.

Контрольные вопросы к темам 1 и 2

1. Чем определяется необходимость мгновенного отключения КЗ на поврежденном элементе?

2. Какой вид КЗ и в какой точке сети является наиболее опасным?

3. От чего зависит значение остаточного напряжения на шинах под-

станции при КЗ на отходящей линии?

4. Как и почему изменяется угол φ при КЗ – φ_K – относительно угла при нормальном режиме ($\varphi_{н.р.}$)?

5. Составляющие токов и напряжений каких последовательностей возникают при $K^{(3)}$; $K^{(2)}$; $K^{(1)}$; $K^{(1,1)}$?

6. От чего зависит время отключения повреждения на линии?

7. Как добиться, чтобы устройство защиты обладало абсолютной селективностью?

8. Почему защиты с относительной селективностью приходится выполнять с выдержкой времени?

9. В чем опасность ложного действия защиты, а также отказа в действии защиты?

3. Элементы схем релейной защиты и автоматики

Устройства релейной защиты и автоматики построены на основе одной унифицированной структуры, состоящей из последовательно соединенных блоков: первичных преобразователей, вторичных преобразователей, измерительной части, логической части и выходных устройств. Питание устройств защиты осуществляется от шин оперативного тока.

Первичными преобразователями в схемах защиты являются измерительные трансформаторы тока и напряжения. При изучении данной темы необходимо четко уяснить особенности проверки трансформаторов тока, используемых для релейной защиты, назначение и использование кривых десятипроцентной погрешности, мероприятия по снижению погрешности работы трансформаторов тока при коротких замыканиях в сети. Схемы соединения трансформаторов тока и обмоток реле: векторные диаграммы, коэффициент схемы, область применения. Использование фильтров симметричных составляющих токов. Трансформаторы напряжения в схемах защиты: типовые схемы соединения, назначение схемы «разомкнутый треугольник», контроль изоляции в сетях с изолированной нейтралью.

Вторичные преобразователи применяются в схемах защиты на интегральной и микропроцессорной базе для преобразования вторичных тока и напряжения измерительных трансформаторов в напряжение, совместимое с интегральной базой. Устройство и принцип действия таких преобразователей рассматриваются при изучении дисциплины «Информационно-измерительная техника и электроника».

Измерительная и логическая части защиты состоят из реле. Большая часть реле, находящихся в эксплуатации, выполнена на электромеханической элементной базе. По принципу действия эти реле делятся на электромагнитные, индукционные и магнитоэлектрические (поляризованные). Необходимо изучить:

принцип действия, конструкцию, регулирование уставок и область применения электромагнитных реле РТ-40 и РН-53;

особенности конструкции индукционного реле тока РТ-80: характери-

ку срабатывания, отсечку, самоход реле и его предотвращение, область применения;

принцип действия, конструкцию, характеристики индукционного реле направления мощности, векторную диаграмму реле синусного, косинусного и смешанного типа, схемы включения реле;

принцип действия реле сопротивления, характеристики срабатывания, конструкции схем сравнения на балансе тока и напряжения;

назначение и принцип действия логических реле защиты: промежуточных, времени, указательных (блинкеров).

Статические реле выполнены на микроэлектронной элементной базе с применением электромагнитного выходного реле. По сравнению с электромеханическими реле они имеют повышенный коэффициент возврата, обладают высокой стойкостью к внешним механическим воздействиям, не подвержены вибрации под действием контролируемого тока или напряжения и имеют меньшее потребление по входным цепям. Основное внимание следует уделить конструкции и принципу работы измерительных органов с одной или двумя входными величинами, выполненных на интегральных микросхемах (ИМС), и элементам логики.

Источники оперативного тока осуществляют питание цепей дистанционного управления выключателями, устройств РЗА и других средств управления. Главным требованием, которому должен отвечать источник оперативного тока, состоит в том, чтобы во время любых повреждений и ненормальных режимов напряжение источника оперативного тока и его мощность всегда имели достаточное значение как для безотказного действия устройств РЗ, автоматики, телемеханики и сигнализации, так и для надежного отключения и включения соответствующих выключателей [2].

Контрольные вопросы к теме 3

1. Каковы диапазоны регулирования параметров срабатывания у реле тока РТ-40/10 и реле напряжения РН-54/160?

2. Какие реле характеризуются более мощными контактами – основные или вспомогательные? Почему?

3. Каковы функции промежуточных реле?

4. Чем обеспечивается ограниченно-зависимая характеристика индукционного реле тока?

5. Позволяет ли конструкция индукционного реле направления мощности изменять величину угла максимальной чувствительности?

6. Что такое «самоход» индукционных реле?

7. Чем обеспечивается замедление в действии промежуточных реле серии РП-250?

8. Почему микросхемы, используемые в РЗ, называются интегральными?

9. Для выполнения каких органов РЗ используются аналоговые ИМС, а для каких цифровые?

10. Что такое операционный усилитель?

11. Какие элементы РЗ выполняются на базе операционных усилителей?
12. Как реализуются логические элементы "И", "НЕТ", "ИЛИ"?
13. Каковы преимущества РЗ, выполненных на базе ИМС, по сравнению с электромеханическими РЗ?
14. Каковы основные недостатки устройств РЗ, выполненных на базе ИМС?
15. Какой источник оперативного тока является наиболее надежным?

4. Релейная защита воздушных и кабельных линий

Воздушные и кабельные линии электропередачи составляют основную часть элементов электрических сетей, наиболее подверженную влиянию внешних факторов. В результате большая часть аварийных отключений связана с повреждениями именно этих элементов. Состав защит, применяемых на линиях, определен ПУЭ [11], принцип действия этих защит одинаков для всех потребителей, поэтому рассмотренные в данном разделе виды могут упоминаться без подробного рассмотрения в составе защит других элементов электросетей, если они не имеют каких-то особенностей для конкретного оборудования.

Необходимо четко уяснить, какие защиты на линии являются основными, какие – резервными.

В сетях 6-10 кВ с изолированной нейтралью на одиночных воздушных и кабельных линиях с односторонним питанием от многофазных замыканий должна устанавливаться, как правило, двухступенчатая токовая защита, первая ступень которой выполняется в виде токовой отсечки, а вторая – в виде МТЗ с независимой или зависимой выдержкой времени. На линиях с двухсторонним питанием те же защиты выполняются направленными. Методика расчета уставок этих защит приведена ниже.

Защита от однофазных замыканий на землю в таких сетях должна быть выполнена в виде:

- селективной токовой защиты, действующей на сигнал;
- селективной токовой защиты, действующей на отключение, если это необходимо по требованиям безопасности;
- устройства контроля изоляции.

Для первого и второго варианта исполнения защиты ток срабатывания:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot k_{\delta} \cdot 3U_{фазн.} \cdot \omega \cdot C_L, \quad (1)$$

где k_n – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1-1,2;

k_{δ} – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока. Для защит с выдержкой времени $k_{\delta} = 2 - 3$, для защит без выдержки времени $k_{\delta} = 4 - 5$;

$U_{фазн.}$ – фазное напряжение сети;

ω – угловая частота;

C_L – емкость фазы защищаемой линии, мкф/км.

Определить величину C_L достаточно сложно, поэтому ток срабатыва-

ния защиты определяют по заданному коэффициенту чувствительности, который для кабельных линий равен 1,25, а для воздушных линий – 1,5:

$$I_{с.з.} = \frac{I_{ТНПповр.л.}}{k_{ч}}, \quad (2)$$

где $I_{ТНПповр.л.}$ – ток, протекающий через трансформатор тока нулевой последовательности, установленный на поврежденной линии. В сети с изолированной нейтралью

$$I_{ТНПповр.л.} = I_{ЗНЗ} - I_{повр.л.}, \quad (3)$$

где $I_{ЗНЗ}$ – суммарный емкостный ток сети;

$I_{повр.л.}$ – ток замыкания на землю линии, на которой установлена защита.

Эти токи определяются следующим образом:

$$I_{ЗНЗ} = I_{ЗНЗ.каб.} + I_{ЗНЗ.возд.}, \quad (4)$$

где $I_{ЗНЗ.каб.}$ – ток замыкания на землю кабельной линии

$$I_{ЗНЗ.каб.} = \frac{U \cdot l}{10}; \quad (5)$$

$I_{ЗНЗ.возд.}$ – ток замыкания на землю воздушной линии

$$I_{ЗНЗ.возд.} = \frac{U \cdot l}{350}. \quad (6)$$

В формулах (5) и (6) U – линейное напряжение, кВ; l – длина соответственно воздушной или кабельной электрически связанной сети, км. Получаемый результат – ток замыкания на землю – в амперах. При определении $I_{повр.л.}$ в соответствующую формулу – (5) или (6) – подставляется длина поврежденной линии.

В сетях с компенсированной нейтралью

$$I_{ТНПповр.л.} = I_L - (I_{ЗНЗ} - I_{повр.л.}), \quad (7)$$

где I_L – индуктивный ток дугогасящей катушки;

$I_{ЗНЗ}$ – полный емкостный ток сети;

$I_{повр.л.}$ – емкостный ток поврежденной линии.

Третий вариант исполнения защиты – устройство контроля изоляции – выполняется на реле напряжения, подключаемом ко вторичной обмотке трансформатора напряжения, соединенной по схеме «разомкнутый треугольник».

Напряжение срабатывания реле

$$U_{c.p.} = \frac{k_n \cdot 3U_{03}}{k_v \cdot n_{TV0}} + U_{нб.}, \quad (8)$$

где k_n – коэффициент надежности, принимаемый 1,5;

k_v – коэффициент возврата реле, принимаемый 0,8;

U_{03} – напряжение третьей гармоники, принимаемое равным $(0,05 - 0,1) \cdot U_{фазн.ном.}$;

$U_{нб.}$ – напряжение небаланса, принимаемое равным 1-3 В;

n_{TV0} – коэффициент трансформации трансформатора напряжения, определяемый по формуле

$$n_{TV0} = \frac{U_{фазн.ном.}}{100/3}. \quad (9)$$

При подстановке указанных значений параметров защиты в формулу (8) напряжение срабатывания реле примет значение:

$$U_{c.p.} = 10 - 12,4 \text{ В}. \quad (10)$$

Минимальная уставка срабатывания реле РН-53/60Д составляет 15 В; эта величина и принимается за расчетную.

Максимальное напряжение на зажимах реле при металлическом замыкании на землю одной фазы

$$U_{p.макс.} = \frac{3U_0}{n_{TV0}} = \frac{3U_{фазн.ном.}}{U_{фазн.ном.}/100/3} = 100 \text{ В}. \quad (11)$$

Коэффициент чувствительности защиты

$$k_{ч} = \frac{U_{p.макс.}}{U_{c.p.}}. \quad (12)$$

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5.

В сетях 20 и 35 кВ на одиночных линиях с односторонним питанием от многофазных замыканий должны быть установлены преимущественно ступенчатые токовые защиты без пуска или с пуском по напряжению; если эти защиты не удовлетворяют требованиям по чувствительности, устанавливается дистанционная ступенчатая защита с пуском по току. В последнем случае в качестве дополнительной защиты рекомендуется использовать токовую отсечку без выдержки времени. При возможности двухстороннего питания защита выполняется направленной.

Защита от однофазных замыканий в таких сетях может быть выполнена в виде устройства контроля изоляции с действием на сигнал: либо с помощью

трех реле минимального напряжения, включенных на фазные напряжения, либо с помощью одного реле максимального напряжения, включенного на напряжение нулевой последовательности.

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения:

$$U_{с.р.} = \frac{U_{мин.раб.фазн.}}{k_n}, \quad (13)$$

где $U_{мин.раб.фазн.}$ – минимальное рабочее фазное напряжение электрической сети;

k_n – коэффициент надежности, равный 1,1-1,2.

Напряжение срабатывания реле максимального напряжения:

$$U_{с.р.} = k_n \cdot U_{нб.}, \quad (14)$$

где $U_{нб.}$ – напряжение небаланса на выходе фильтра напряжения нулевой последовательности, обычно не превышающее 2-3% номинального напряжения. Для трансформаторов, предназначенных для сети с изолированной нейтралью, $U_{ном.} = 100/3$ В;

k_n – коэффициент надежности, равный 1,5.

Обычно при применении максимального напряжения РН-53/60Д и РНН-57 их напряжение срабатывания принимается равным нижнему пределу диапазона уставок.

В сетях 110-500 кВ на одиночных линиях с односторонним питанием для защиты от многофазных замыканий следует устанавливать ступенчатые токовые защиты без пуска или с пуском по напряжению. Если такие защиты не удовлетворяют требованиям по чувствительности, должна быть предусмотрена ступенчатая дистанционная защита с токовой отсечкой в качестве дополнительной защиты.

От замыканий на землю должна быть предусмотрена ступенчатая токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП).

При двухстороннем питании эти же защиты выполняются направленными.

Если перечисленные защиты не удовлетворяют требованиям по быстродействию, то в качестве основных защит одиночных линий следует предусматривать высокочастотные и продольные дифференциальные защиты (ДФЗ).

Для линий 110-220 кВ рекомендуется осуществлять основную защиту с использованием высокочастотной блокировки дистанционной защиты и токовой направленной защиты нулевой последовательности.

На линиях 330-500 кВ в дополнение к высокочастотной защите следует предусматривать использование устройства передачи отключающего или разрешающего высокочастотного сигнала.

4.1. Токовые защиты.

Токовая защита наиболее часто применяется на всех уровнях напряжения. При ее изучении необходимо разобраться, закрепив при выполнении курсовой работы, с методикой расчета уставок и проверкой чувствительности максимальной токовой защиты (МТЗ), обоснованием применения МТЗ с пуском по напряжению и расчетом уставок срабатывания в этом случае. Необходимо усвоить, что является зоной действия защиты, как производится расчет уставок и проверка чувствительности токовой отсечки (ТО), обратить внимание на отличие проверки чувствительности МТЗ и ТО. Следует разобраться, что такое ступенчатый принцип построения токовых защит, как выбирается ток срабатывания по ступеням, особенности выбора тока срабатывания второй и третьей ступеней, согласование защит по ступеням. Понять обоснование ступени селективности по времени, величину ступени:

в распределительных сетях;

в сетях собственных нужд ТЭС и АЭС и сетях с воздушными выключателями;

при использовании индукционных реле РТ-80.

В дополнение к расчету токовых защит необходимо разобраться, как построена принципиальная схема МТЗ, схема токовых и оперативных цепей.

Расчет уставок максимальной токовой защиты.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з.} = \frac{k_n \cdot k_з}{k_в} \cdot I_{раб.макс.}, \quad (15)$$

где k_n – коэффициент надежности, принимаемый для реле РСТ11, РТ-40, РТ-80, РТ-90 равным 1,1-1,2, а для реле РТВ равным 1,2-1,4;

$k_в$ – коэффициент возврата реле, принимаемый для реле РСТ11 равным 0,9; для реле РТ-40, РТ-80, РТ-90 – 0,8-0,85, а для реле РТВ – 0,6-0,7;

$k_з$ – коэффициент запуска двигателей, определяемый расчетом;

$I_{раб.макс.}$ – максимальный рабочий ток нагрузки защищаемой линии:

$$I_{раб.макс.} = \frac{S_{нагр.макс.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (16)$$

где $S_{нагр.макс.}$ – максимальная нагрузка защищаемой линии в наиболее тяжелых, но реально возможных условиях;

$U_{ном}$ – линейное напряжение защищаемой линии.

Коэффициент запуска двигателей лежит в широких пределах и зависит от вида нагрузки и ее параметров, от схемы электрической сети, от выбранного режима пуска двигателей, поэтому в различных условиях и для разных категорий нагрузок его расчет производится разными методами, что является очень трудоемкой задачей.

Поэтому в упрощенных расчетах, когда неизвестны необходимые данные

для расчета коэффициента запуска двигателей, ток срабатывания защиты определяется по выражению:

$$I_{с.з.} = (3 \div 4) \cdot I_{ном.}, \quad (17)$$

где $I_{ном.}$ – номинальный ток защищаемого объекта. Для кабельных линий электропередачи за $I_{ном.}$ принимается длительно допустимый ток кабеля $I_{дл.доп.}$

Меньшее значение кратности тока срабатывания допускается применять в тех случаях, когда коэффициент чувствительности получается ниже следующих значений:

- а) 1,5 – для основных максимальных токовых защит;
- б) 1,2 – для резервных максимальных токовых защит, не предназначенных для замены основных защит;
- в) 1,5 – для токовых пусковых органов дистанционных защит.

Ток срабатывания реле

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}}{n_{ТА}} \cdot k_{сх}, \quad (18)$$

где $k_{сх}$ – коэффициент схемы. Для защит, включаемых по схеме «звезда – звезда» и «неполная звезда», $k_{сх} = 1$, а для защит, включаемых по схеме «треугольник – звезда» и на разность токов двух фаз, $k_{сх} = \sqrt{3}$;

$n_{ТА}$ – коэффициент трансформации трансформатора тока:

$$n_{ТА} = \frac{I_{1ном.}}{I_{2ном.}}, \quad (19)$$

где $I_{1ном.}$ и $I_{2ном.}$ – первичный и вторичный номинальные токи трансформатора тока.

Чувствительность защиты

$$k_{ч} = \frac{I_{к.мин.}}{I_{с.з.}}, \quad (20)$$

где $I_{к.мин.}$ – ток двухфазного короткого замыкания в конце зоны действия защиты в минимальном режиме работы электрической сети. Для МТЗ-1, установленной на линии $W1$, если защита – основная, коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5 при коротком замыкании в конце защищаемой линии – в точке $K1$. Эта же защита может осуществлять дальнейшее резервирование защит МТЗ-2 и МТЗ-3; коэффициент чувствительности должен быть не ниже 1,2 при коротком замыкании в конце резервируемой линии (для линии $W2$ – в точ-

ке K2, для W3 – в точке K3) – рис. 1.

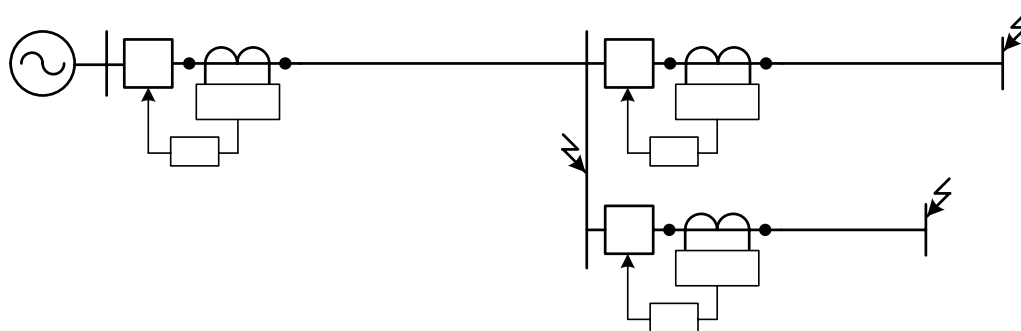


Рис. 1. Максимальные токовые защиты в радиальной сети с односторонним питанием.

Выдержка времени МТЗ-1 согласуется со временем срабатывания резервируемых защит:

$$t_1 \geq t_2 + \Delta t, \quad G1 \quad Q1_{(21a)} \quad TA$$

$$t_1 \geq t_3 + \Delta t, \quad (216)$$

где t_1 – выдержка времени рассчитываемой защиты;

t_2, t_3 – выдержки времени защит, с которыми ведется согласование;

Δt – степень селективности;

$$\Delta t = t_Q + t_{KT2} + t_{KT1} + t_{зан.}; \quad (22) \quad t1$$

здесь t_Q – время отключения выключателя. Оно берется по справочным данным; при отсутствии информации может быть взято в следующих пределах: для масляных выключателей $t_Q = 0,055 - 0,16$ с; для воздушных и электромагнитных выключателей $t_Q = 0,07 - 0,08$ с (за исключением выключателя ВВГ-20, у которого $t_Q = 0,15$ с); для вакуумных выключателей $t_Q = 0,025 - 0,055$ с;

t_{KT1}, t_{KT2} – погрешности в срабатывании реле времени защиты поврежденного элемента и последующей защиты (табл. 1).

Таблица 1

Погрешность срабатывания реле времени

Диапазон уставок реле, с	Погрешность срабатывания, с
0,1 – 1,3	0,06
0,25 – 3,5	0,12
0,5 – 9	0,25
1 – 20	0,8

$t_{зан.}$ – время запаса – учитывает неточность регулировки реле времени, разброс

во времени отключения выключателей и т.п.; принимается равным 0,1 - 0,15 с.

В качестве уставки срабатывания МТЗ-1 по времени принимается большее значение t_1 , определенное по условиям (21а) и (21б).

Если чувствительность защиты, характеризуемая величиной k_q , не отвечает требованиям ПУЭ, МТЗ дополняется блокировкой или пуском по напряжению. Ток срабатывания защиты в этом случае:

$$I_{с.з.} = \frac{k_n}{k_g} \cdot I_{ном.}, \quad (23)$$

где k_n – коэффициент надежности, равный 1,1 - 1,25;

$I_{ном.}$ – номинальный ток силового трансформатора.

Очевидно, что ток, рассчитанный по формуле (23), будет меньше, чем ток, определенный по формуле (15). Реле тока будет срабатывать при каждом увеличении тока в контролируемой линии сверх $I_{ном.}$. Чувствительность защиты по току – см. формулу (20) – заметно возрастает, но отличить режим КЗ от режима перегрузок она уже не может. Орган контроля напряжения и предназначен для того, чтобы защита срабатывала только при коротких замыканиях и не реагировала на перегрузки. Выбор уставок по напряжению для одного из вариантов исполнения такой МТЗ приведен ниже.

Максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения.

Уставка по току, выдержка времени и чувствительность определяются по формулам (23), (21а,б) и (20) соответственно. Отличием данной защиты от предыдущей является включение пускового органа минимального напряжения $KV2$ на выходе фильтра напряжения обратной последовательности $ZV2$ (рис. 2г).

Первичное напряжение срабатывания реле $KV2$:

$$U_{2с.з.} = 0,06 \cdot U_{ном.}, \quad (24)$$

где $U_{ном.}$ – первичное междуфазное напряжение в месте установки трансформатора напряжения TV .

Вторичное напряжение срабатывания реле $KV2$ на выходе фильтра:

$$U_{2с.р.} = \frac{U_{2с.з.}}{n_{TV}}. \quad (25)$$

Чувствительность фильтр-реле напряжения обратной последовательности:

$$k_{ч.U2} = \frac{U_{2.к.мин.}^{(2)}}{U_{2с.з.}}, \quad (26)$$

где $U_{2.к.мин.}^{(2)}$ – первичное напряжение обратной последовательности в месте установки защиты при металлической коротком замыкании в конце зоны резервирования в минимальном режиме работы сети.

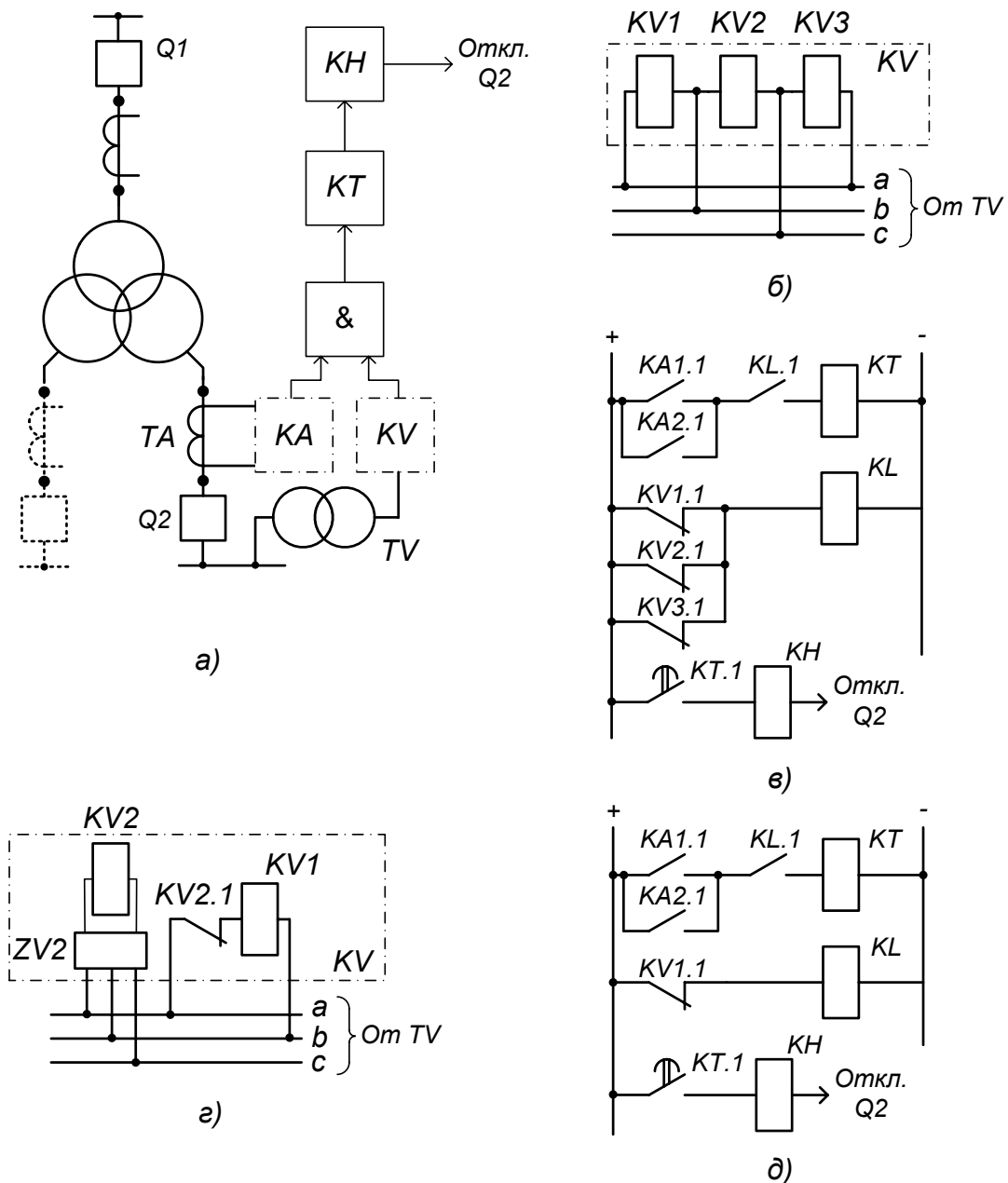


Рис. 2. Максимальная токовая защита с пуском по напряжению:
 а – структурная схема МТЗ; б, в – цепи переменного напряжения и оперативные цепи для МТЗ с пуском напряжения; г, д – цепи переменного напряжения и оперативные цепи для МТЗ с комбинированным пуском.

В упрощенных расчетах:

$$U_{2.к.мин.}^{(2)} = 0,5 \cdot U_{ном.} \quad (27)$$

Коэффициенты чувствительности по току и напряжению должны быть не менее 1,5 при выполнении функции основной защиты и не менее 1,2 – при вы-

полнении функции резервной защиты.

Токовые отсечки на линиях электропередачи.

Ток срабатывания отсечки:

$$I_{с.з.} = k_H \cdot I_{к.макс.}^{(3)} \quad (28)$$

где k_H – коэффициент надежности, равный: для реле РТ-40 – 1,2 - 1,3; для реле РТ-80 – 1,5 - 1,6 и для реле РТМ – 1,4 - 1,5;

$I_{к.макс.}^{(3)}$ – максимальный ток в фазе линии при коротком замыкании на шинах противоположной подстанции (см. рис. 3: для МТО1 – это ток трехфазного к.з. в точке К2).

Ток срабатывания реле

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}}{n_{ТА}} \cdot k_{сх} \quad (29)$$

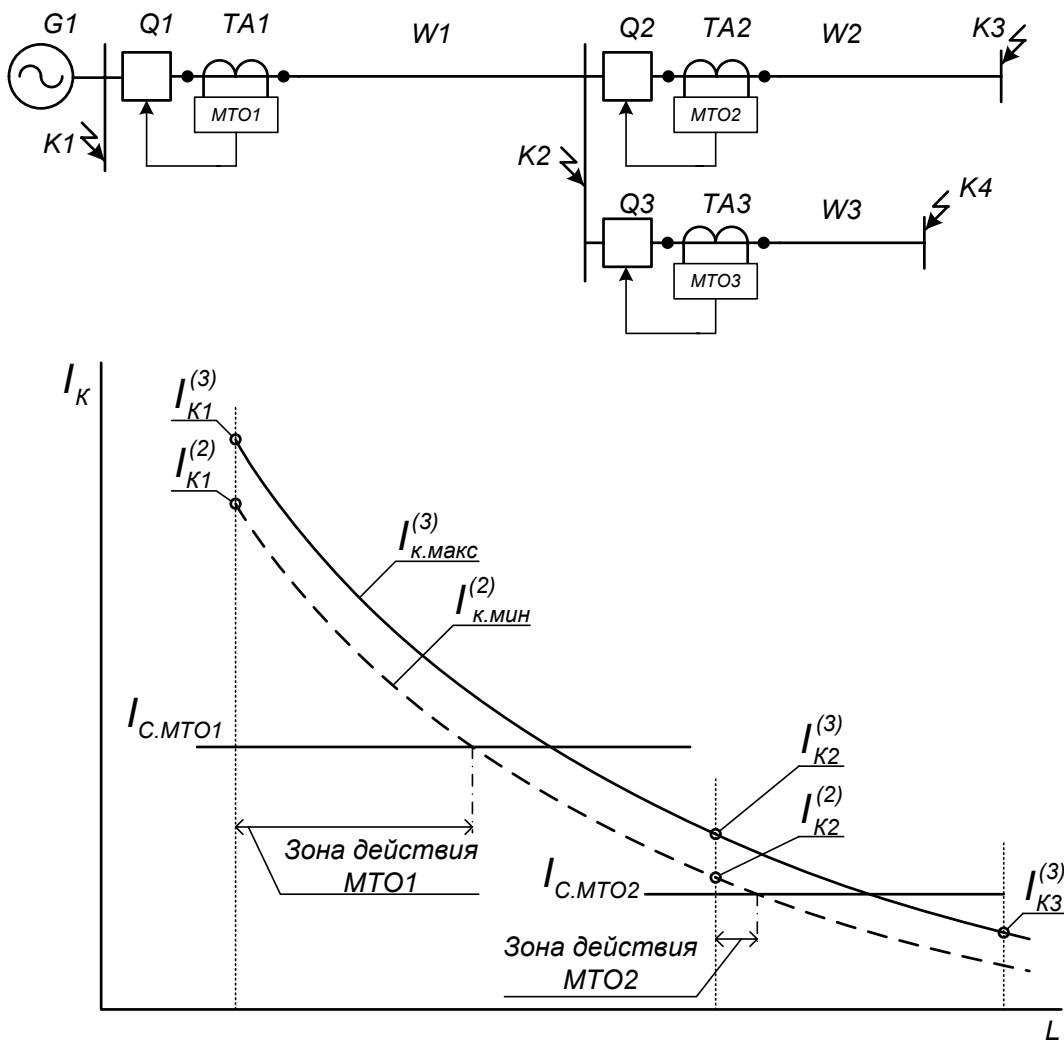


Рис. 3. Определение зоны действия токовых отсечек.

Зона действия отсечки определяется обычно графическими построениями как точка пересечения кривой изменения тока короткого замыкания в минимальном и максимальном режимах работы сети в зависимости от длины линии или ее реактивного сопротивления и прямой тока срабатывания защиты (рис. 3).

в упрощенных расчетах зона действия отсечки может быть определена по формуле:

$$L_{отс} = \left(\frac{E_{сист.}}{I_{с.з.}} - x_{сист.} \right) \cdot \frac{100}{x_W}, \% \quad (30)$$

где x_W – сопротивление защищаемой линии;

$x_{сист.}$ – сопротивление системы (источника питания);

$E_{сист.}$ – эдс системы (источника питания).

Отсечка считается эффективной, если ее зона действия охватывает не менее 20-25% длины линии. В предварительных расчетах допускается вместо зоны действия отсечки определять коэффициент чувствительности защиты по минимальному току двухфазного к.з. на шинах той подстанции, где установлена отсечка. Например, для МТО1:

$$k_{ч} = \frac{I_{K1}^{(2)}}{I_{с.з.}} = \frac{I_{K1}^{(2)}}{I_{С.МТО1}} \quad (31)$$

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 2,0.

Поскольку зона действия токовой отсечки не выходит за пределы защищаемой линии, она выполняется без выдержки времени: $t_{защ.} \approx 0$. Отсюда и название защиты – мгновенная токовая отсечка (МТО).

Контрольные вопросы к темам 4 (раздел «Защита сетей с изолированной нейтралью от замыканий на землю») и 4.1

1. Почему защита от замыканий на землю кабельной линии чаще всего выполняется с действием на сигнал? В каких случаях должна выполняться на отключение?

2. От чего зависит значение емкостного тока кабельной линии?

3. В чем преимущество кабельного трансформатора тока нулевой последовательности по сравнению с трехтрансформаторным фильтром токов нулевой последовательности?

4. От какого тока по условиям селективности следует отстраивать защиту кабельной линии от замыканий на землю?

5. Должны ли измениться параметры максимальной токовой защиты

питающей линии при дополнительном подключении нового потребителя к шинам приемной подстанции?

6. Чем определяется значение Δt ступени селективности?

7. В каком случае при расчете МТЗ можно не учитывать коэффициент самозапуска электродвигателей?

8. В чем особенности реле, используемых в схемах МТЗ на переменном оперативном токе?

9. Почему токовая отсечка должна быть рассчитана по максимальному режиму?

10. Как ликвидируется КЗ в пределах "мертвой зоны" токовой отсечки?

11. Каково назначение ступеней в трехступенчатой токовой защите?

12. В сочетании с какой автоматикой применяется неселективная токовая отсечка?

4.2. Токовые направленные защиты.

При использовании МТЗ или МТО в кольцевой сети с одним источником питания либо в сетях с двусторонним питанием возможно неселективное отключение повреждений токовой защитой при повреждениях на смежных присоединениях. Обеспечить селективность в таком случае можно, используя в схеме защиты реле направления мощности. В названии защиты (и в аббревиатуре) при этом добавляется слово «направленная», например: максимальная направленная токовая защита – МНТЗ. Иногда слово «токовая» (и, соответственно, букву) в названии защиты опускают.

При изучении данной темы нужно разобраться с методикой выбора места установки и зоны действия элементов направления МНТЗ, с последовательностью расчета уставок защиты по току и времени, с особенностями выбора уставки срабатывания токового реле.

Действие защиты допускается, если ток повреждения направлен «от шины в линию». Ниже, на рис. 4, дана иллюстрация такого подхода: стрелками показано «разрешенное» направление тока; если ток реального КЗ направлен по стрелке, реле мощности разрешает работу комплекта защиты, если нет – блокирует. В результате взаимному согласованию подлежат уставки не всех защит, а только действующих в одном направлении.

Максимальная токовая направленная защита линии.

Ток срабатывания защиты

$$I_{с.з.} \geq \frac{k_{н1} \cdot k_{зан.}}{k_{в}} \cdot I_{нагр.макс.}, \quad (32)$$

$$I_{с.з.} \geq k_{н2} \cdot I_{нен.}, \quad (33)$$

где $k_{н1}$, $k_{зан.}$, $k_{в}$ – коэффициенты надежности, запуска двигателей и возврата реле, определяемые аналогично ненаправленной МТЗ – см. формулу (15);

$I_{нагр.макс.}$ – ток нагрузки линии в послеаварийном режиме (после

отключения внешнего КЗ);

$I_{неп.}$ – ток в неповрежденных фазах при двухфазных и однофазных КЗ на землю в сети с глухозаземленной нейтралью;

$k_{н2}$ – коэффициент надежности, равный 1,5-1,3.

Если максимальная направленная защита (МНЗ) блокируется при коротком замыкании на землю или установлена на линии в сети с изолированной нейтралью, то ток срабатывания выбирается только по (32).

Для обеспечения селективности действия и согласованности по чувствительности уставки защит, действующих в одном направлении, необходимо согласовать так, чтобы токи срабатывания нарастали при обходе защит против направления их действия. Для защит, показанных на рис. 4, этому правилу соответствуют условия:

$$I_{c.3.6} < I_{c.3.4} < I_{c.3.2} < I_{c.3.1}, \quad (34)$$

$$I_{c.3.3} < I_{c.3.5} < I_{c.3.7} < I_{c.3.1}. \quad (35)$$

Разница в величинах тока срабатывания составляет обычно около 10%.

Ток срабатывания реле определяется аналогично (18):

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.}}{n_{ТА}} \cdot k_{сх}. \quad (36)$$

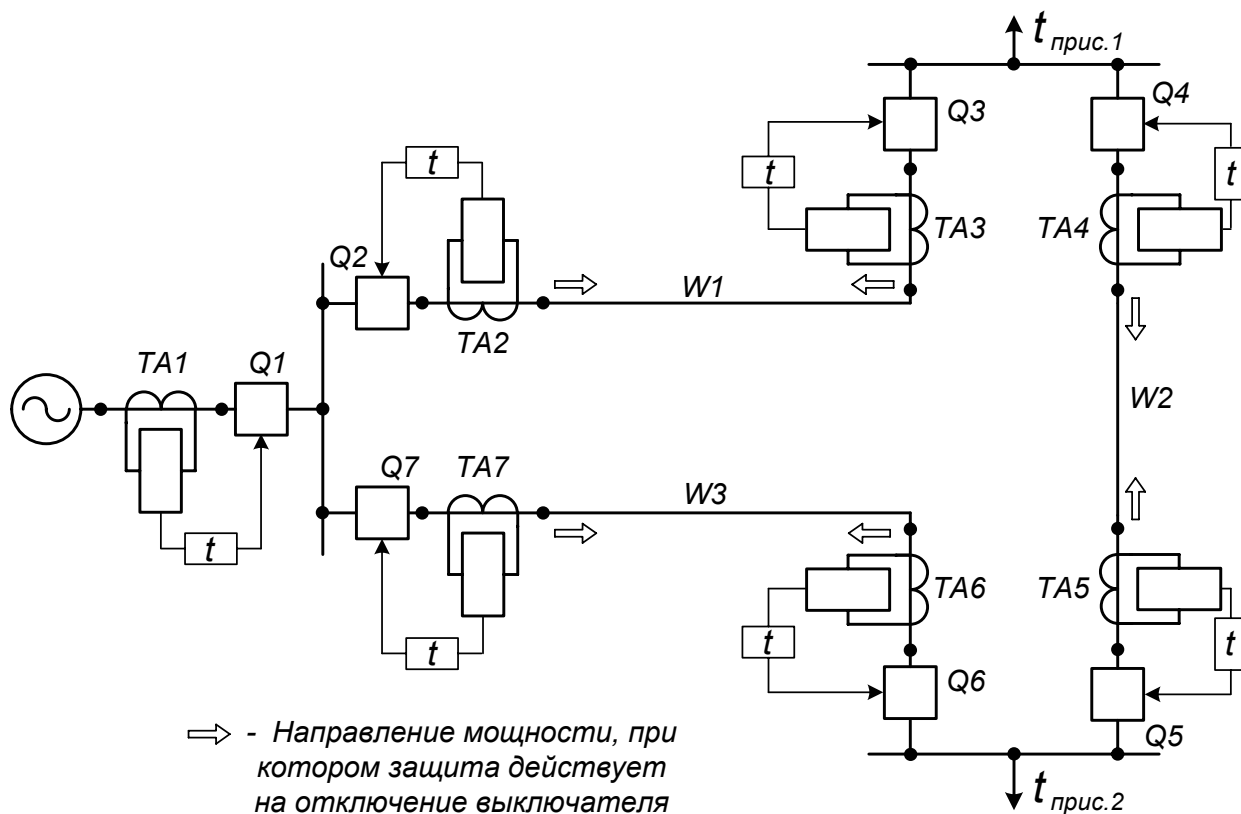


Рис. 4. Схема кольцевой сети и размещение комплектов МНЗ на линиях (номер защиты соответствует номеру выключателя).

По времени срабатывания между собой согласуются только комплекты, работающие в одном направлении. При выборе выдержки времени учитывается также время действия защит присоединений, отходящих от шин подстанции. Например:

$$t_{c.3.2} \geq t_{c.3.4} + \Delta t, \quad (37)$$

$$t_{c.3.2} \geq t_{nприс.1} + \Delta t. \quad (38)$$

За расчетное значение принимается большее из полученных значений выдержек времени.

Чувствительность защиты

$$k_{\text{ч}} \geq \frac{I_{K3\text{мин.}}}{I_{c.3.}}, \quad (39)$$

где $I_{K3\text{мин.}}$ – ток двухфазного КЗ на шинах противоположной по отношению к защите подстанции в минимальном режиме работы. Если защита – основная, то $k_{\text{ч}}$ должен быть не менее 1,5; для резервных защит – не менее 1,25.

Величина «мертвой» зоны по напряжению определяется по формуле:

$$l_x = \frac{n_{TV} \cdot n_{TA} \cdot S_{c.p.\text{мин.}}}{\sqrt{3} \cdot z_{уд.} \cdot (I_{K3}^{(3)})^2 \cdot \cos(\varphi_p + \alpha)}, \quad (40)$$

где n_{TV} , n_{TA} – коэффициенты трансформации трансформаторов напряжения и тока;

$S_{c.p.\text{мин.}}$ – минимальная мощность срабатывания реле при токе $I_p = I_{K3}^{(3)} / n_{TA}$; для реле РБМ-171 и РБМ-271 $S_{c.p.\text{мин.}} = S_{c.p.} \cdot (I_p / I_{ном.})$ мощность $S_{c.p.}$ определяется по справочным данным;

$z_{уд.}$ – удельное сопротивление защищаемой линии;

$I_{K3}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на шинах в месте установки защиты;

φ_p – угол сдвига фаз между векторами тока и напряжения, подаваемыми на реле (угол положителен, когда вектор тока \dot{I}_p отстает от вектора напряжения \dot{U}_p). Для 90-градусной схемы включения реле

$$\varphi_p = \arctg \frac{x_{уд.}}{r_{уд.}} - 90^0. \quad (41)$$

Здесь $x_{уд.}$ и $r_{уд.}$ – реактивное и активное удельные сопротивления защищаемой линии;

$\alpha = 90^\circ - \gamma_U$ – угол, дополняющий до 90° угол полного сопротивления

цепи напряжения реле мощности γ_U , который берется из справочников.

Величина «мертвой» зоны не должна превышать 10% длины линии.

Направленная токовая отсечка.

Мгновенная токовая отсечка на линиях с двусторонним питанием не должна действовать при КЗ «за спиной», т.е. вне пределов защищаемой линии. Например, отсечка, воздействующая на выключатель $Q2$, не должна работать при КЗ в точке $K2$ (рис. 5).

Выполнить это требование можно, делая отсечку направленной. Ток срабатывания определяется из двух условий:

$$I_{с.з.} \geq k_n \cdot I_{КЗмакс.}, \quad (42)$$

$$I_{с.з.} \geq k_n \cdot I_{кач.}, \quad (43)$$

где k_n – коэффициент надежности, принимаемый для реле РТ-40 равным 1,2-1,3, для реле РТ-80 – 1,5-1,6;

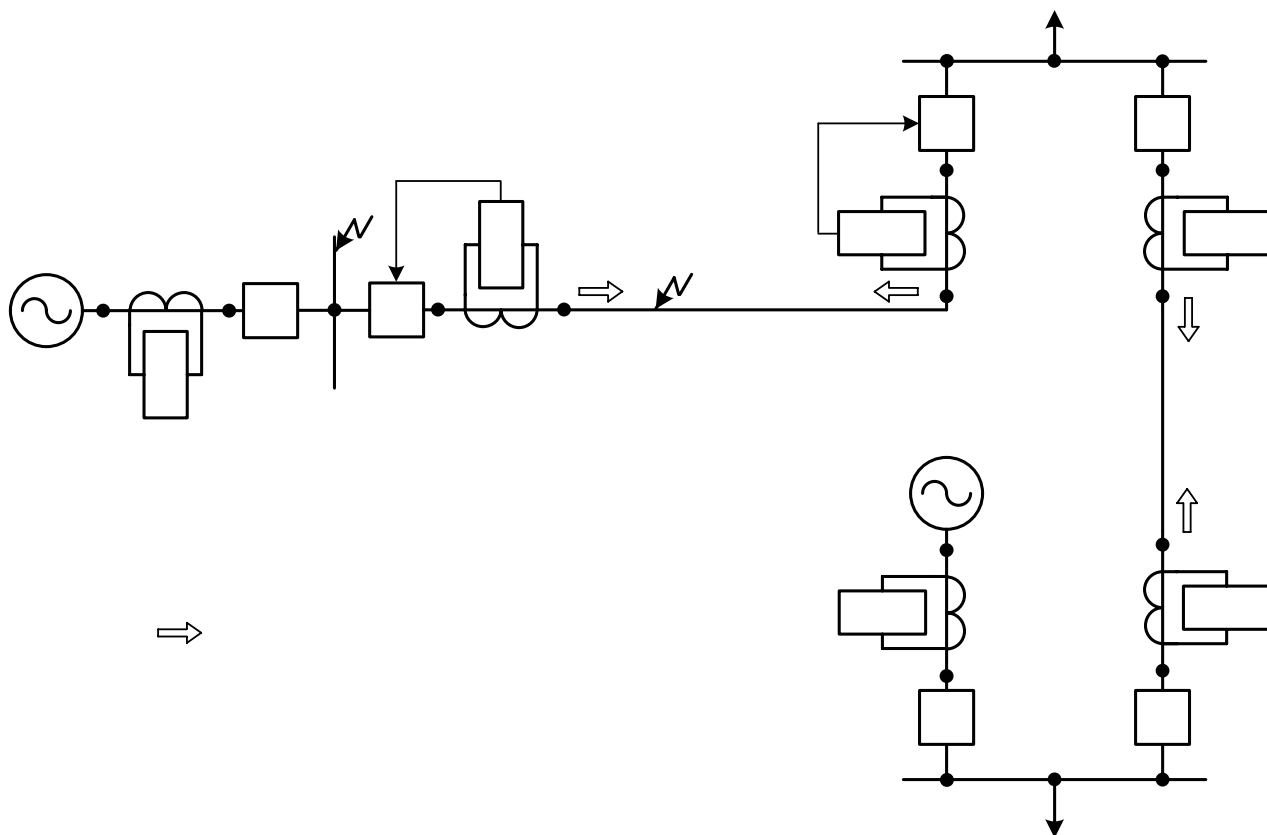


Рис. 5. Токовые отсечки на линиях с двусторонним питанием.

$I_{КЗмакс.}$ – максимальный ток КЗ, протекающий через защиту при

повреждении на шинах противоположной подстанции;

$I_{кач.}$ – максимальный ток качания, появляющийся при асинхронной работе источников питания.

$$I_{кач.макс.} = \frac{2 \cdot E}{x_{C1} + x_L + x_{C2}}, \quad (44)$$

где E – эдс параллельно работающих источников питания;

x_{C1} , x_{C2} , x_L – сопротивления, соответственно, источников питания и линии, на которой устанавливаются защиты.

Если при отстройке от тока качаний отсечка окажется слишком заглубленной, то необходимо применить блокировку от качаний, а ток срабатывания определять только по условию (42).

Зона действия отсечки определяется графически, аналогично ненаправленной отсечке, и должна составлять не менее 15 – 20% длины линии.

Контрольные вопросы к теме 4.2

1. Назначение дополнительной маркировки выводов ("") у реле направления мощности?*

2. Где расположена и чем обусловлена "мертвая зона" реле направления мощности?

3. Какие схемы соединения обмоток трансформаторов тока и напряжения использует комплект направленной защиты от междуфазных КЗ?

4. Почему токовая направленная защита не может применяться в сложных сетях с несколькими источниками питания?

4.3. Дистанционные защиты.

Если в кольцевой сети два и более источника питания, МНТЗ не обеспечивает селективного отключения повреждений. В этом случае применяется защита, в которой время отключения зависит от электрического расстояния между местом установки защиты и точкой КЗ (дистанции). В качестве измерительного органа используется реле сопротивления, которое контролирует, как соотносятся напряжение на шинах, подводимое к реле, и ток, протекающий через защиту.

При изучении темы следует усвоить методику выбора уставок срабатывания защит по ступеням, разобраться с факторами, влияющими на измеряемое сопротивление, – такими как дуга в месте повреждения, токи подпитки и отсоса.

Необходимо также ознакомиться с блокировкой действия защиты при качаниях (принцип блокировки) при потере напряжения во вторичных цепях за-

щиты, с характеристиками реле сопротивления в комплексной плоскости и областью применения реле с различными характеристиками.

Дистанционная защита линии 35-330 кВ.

Сопротивление срабатывания первой ступени защиты ДЗ-1 и ДЗ-4 (для линии W1 – рис. 6):

$$z'_{c.3.1} = 0,85 \cdot z_{W1}, \quad (45)$$

где z_{W1} – сопротивление прямой последовательности защищаемой линии.

Выдержка времени первой ступени

$$t'_{c.3.1} = 0,1 \div 0,2 \text{ с.} \quad (46)$$

Сопротивление срабатывания второй ступени защиты ДЗ-1:

согласуется по чувствительности с первой ступенью защиты следующей линии:

$$z''_{c.3.1} \leq 0,85 \cdot (z_{W1} + k \cdot z'_{c.3.2}), \quad (47)$$

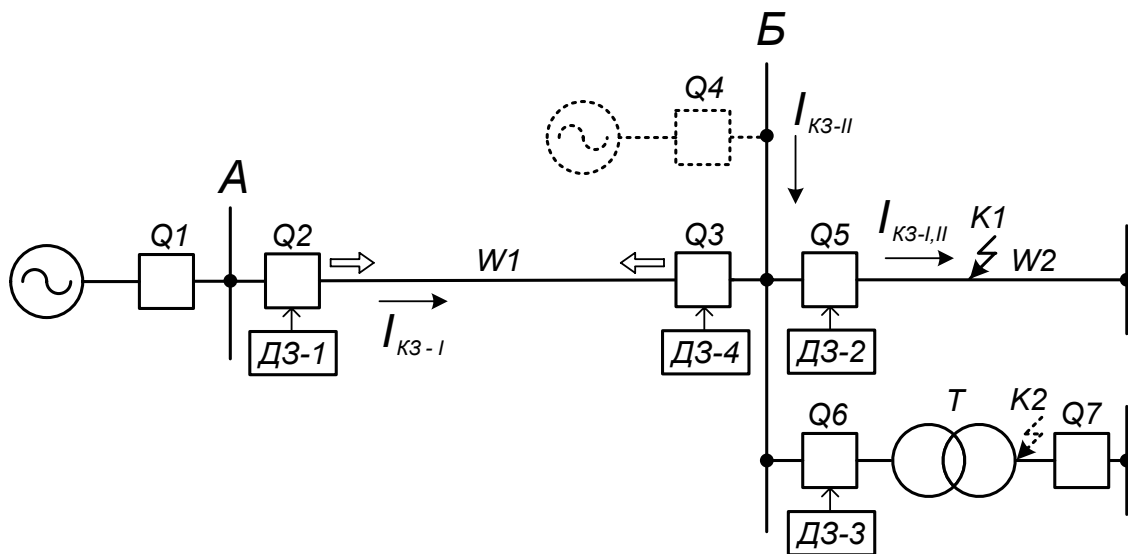


Рис. 6. Выполнение дистанционных защит на участке сети.

отстраивается от КЗ на шинах среднего или низшего напряжения подстанции Б (за трансформатором Т):

$$z''_{c.3.1} \leq 0,85 \cdot (z_{W1} + z_{T_{мин.}}), \quad (48)$$

где k – коэффициент отстройки, равный 0,85-0,9;

$z'_{c.3.2}$ – сопротивление срабатывания первой ступени защиты следующей линии, определяемое по формуле (45);

$z_{T_{мин.}}$ – минимальное сопротивление трансформатора (с учетом

действия РПН).

Формулы (47) и (48) – при наличии источника питания (ИП) только на подстанции *A*. Если источников питания несколько (второй ИП – на подстанции *B*), сопротивление срабатывания второй ступени защиты определяется по формулам:

$$z''_{c.3.1} \leq 0,85 \cdot (z_{W1} + k \cdot z'_{c.3.2} \cdot k'_{m/p}), \quad (49)$$

$$z''_{c.3.1} \leq 0,85 \cdot (z_{W1} + z_{T_{мин.}} \cdot k''_{m/p}), \quad (50)$$

где $k'_{m/p}$ и $k''_{m/p}$ – коэффициенты токораспределения, которые позволяют учесть неравенство токов КЗ, протекающих в разных комплектах дистанционной защиты. Общая формула для этих коэффициентов:

$$k_{m/p} = \frac{I_{КЗ_{посл.}}}{I_{КЗ_{пред.}}}, \quad (51)$$

где $I_{КЗ_{посл.}}$ и $I_{КЗ_{пред.}}$ – токи короткого замыкания, проходящие по последующей и предыдущей линиям (считая от источника питания) при замыкании в конце зоны действия первой ступени последующей защиты в максимальном режиме работы предыдущей системы и минимальном режиме работы последующей системы. Для схемы, изображенной на рис. 6, $k'_{m/p}$ определяется при КЗ в точке К1:

$$k'_{m/p} = \frac{I_{КЗ-I,II}}{I_{КЗ-I}}. \quad (52)$$

Аналогично определяется $k''_{m/p}$, но токи рассчитываются при КЗ в точке К2.

Выдержка времени второй ступени (применительно к ДЗ-1)

$$t''_{c.3.1} \geq t'_{c.3.2} + \Delta t, \quad (53)$$

$$t''_{c.3.1} \geq t_{c.3.T(осн)} + \Delta t, \quad (54)$$

где $t'_{c.3.2}$ – выдержка времени первой ступени последующей защиты (ДЗ-2);

$t_{c.3.T(осн)}$ – выдержка времени основной защиты трансформатора *T*;

Δt – степень селективности, определяемая по формуле (22).

Чувствительность второй ступени защиты

$$k''_u = \frac{z''_{c.3.1}}{z_{W1}}. \quad (55)$$

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,25.
Спротивление срабатывания третьей ступени

$$z_{с.з.1}''' = \frac{z_{раб.мин.}}{k_H \cdot k_B} \quad (56)$$

где $k_H = 1,1 \div 1,2$ – коэффициент надежности;

$k_B = 1,05 \div 1,2$ – коэффициент возврата реле;

$z_{раб.мин.}$ – минимальное рабочее сопротивление, определяемое по формуле

$$z_{раб.мин.} = \frac{U_{раб.мин.}}{\sqrt{3} \cdot k_{зан.} \cdot I_{раб.макс.}}, \quad (57)$$

где $U_{раб.мин.}$ – минимальное значение междуфазного напряжения в месте установки защиты в условиях самозапуска электродвигателей, принимаемое равным $(0,8 - 0,9)U_{ном.}$;

$k_{зан.}$ – коэффициент запуска двигателей, принимаемый в ориентировочных расчетах равным 1,5 - 2,0; более точно определяется расчетом.

Спротивление срабатывания третьей зоны направленных дистанционных защит:

$$z_{раб.мин.} = \frac{U_{раб.мин.}}{\sqrt{3} \cdot k_H \cdot k_B \cdot k_{зан.} \cdot I_{раб.макс.} \cdot \cos(\varphi_{м.ч.} - \varphi_{раб.})}, \quad (58)$$

где $\varphi_{м.ч.}$ – угол максимальной чувствительности, принимаемый равным 65^0 или 80^0 – в зависимости от типа реле;

$\varphi_{раб.}$ – угол, соответствующий нагрузочному режиму линии после отключения внешнего короткого замыкания.

Выдержка времени третьей ступени:

$$t_{с.з.1}''' \geq t_{с.з.2}''' + \Delta t, \quad (59)$$

$$t_{с.з.1}''' \geq t_{с.з.Т(рез)} + \Delta t, \quad (60)$$

где $t_{с.з.2}'''$ – выдержка времени третьей ступени последующей защиты (ДЗ-2);

$t_{с.з.Т(рез)}$ – выдержка времени резервной защиты трансформатора Т.

Чувствительность третьей ступени:

$$k_{\text{ч}}''' = \frac{z_{\text{с.з.1}}'''}{z_{\text{КЗмакс.}}}, \quad (61)$$

где $z_{\text{КЗмакс.}}$ – наибольшее сопротивление на зажимах реле при коротком замыкании в расчетной точке. При коротком замыкании в конце защищаемой линии $z_{\text{КЗмакс.}} = z_{\text{W1}}$, а при коротком замыкании в конце зоны резервирования, т.е. в конце последующей линии

$$z_{\text{КЗмакс.}} = z_{\text{W1}} + z_{\text{W2}} \cdot k_{\text{м/р.мин.}}, \quad (62)$$

где z_{W2} – сопротивление прямой последовательности последующей линии;

$k_{\text{м/р.мин.}}$ – коэффициент токораспределения, определяемый аналогично (51) при замыкании в конце зоны действия второй ступени последующей защиты.

Коэффициент чувствительности при коротком замыкании в конце защищаемой линии должен быть не менее 1,5, а при коротком замыкании в зоне резервирования – не менее 1,2.

В целях снижения выдержки времени третьей ступени (в случае, если коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}''' < 1,2$) сопротивление срабатывания третьей ступени защиты выбирается по формуле:

$$z_{\text{с.з.1}}''' \leq 0,85 \cdot (z_{\text{W1}} + 0,85 \cdot z_{\text{с.з.2}}'' \cdot k_{\text{м/р.макс.}}), \quad (63)$$

где $z_{\text{с.з.2}}''$ – сопротивление срабатывания второй ступени последующей защиты, определяемое по формулам (47) – (48) или (49) – (50). Тогда выдержка времени будет выбираться по формуле:

$$t_{\text{с.з.1}}''' \geq t_{\text{с.з.2}}'' + \Delta t, \quad (64)$$

где $t_{\text{с.з.2}}''$ – выдержка времени второй ступени последующей защиты.

Если же коэффициент чувствительности при выборе уставки срабатывания по выражению (58) получится меньше 1,2, то нужно проверить возможность использования реле с эллиптической характеристикой.

Ток срабатывания пусковых органов дистанционной защиты, выполненных с помощью токовых реле:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{б}}} \cdot I_{\text{раб.макс.}}, \quad (65)$$

где все составляющие определяется аналогично максимальной токовой защите.

Если необходимо обеспечить избирательность поврежденных фаз, то ток срабатывания защиты должен выбираться с учетом второго условия:

$$I_{c.з.} \geq k_H \cdot I_{неп.ф.}^{(2)}, \quad (66)$$

где $k_H = 1, 2$ – коэффициент надежности;

$I_{неп.ф.}^{(2)}$ – максимальное значение тока в неповрежденной фазе при двухфазном коротком замыкании на защищаемой линии.

Чувствительность токовых органов определяется по формуле (20) аналогично максимальной токовой защите и имеет те же численные значения.

Сопротивление срабатывания реле

$$z_{ср.р.} = z_{с.з.} \frac{n_{ТА}}{n_{ТВ}}, \quad (67)$$

где $n_{ТА}$ и $n_{ТВ}$ – коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения.

Дистанционная защита распределительных сетей 6-20 кВ с сетевым резервированием.

Дистанционная защита применяется в распределительных сетях для повышения чувствительности и для снижения времени отключения коротких замыканий.

Сопротивление срабатывания защиты при коротком замыкании в конце защищаемой линии

$$z_{с.з.} = k_q \cdot z_{W1}, \quad (68)$$

где k_q – коэффициент чувствительности, равный 1,5;

z_{W1} – сопротивление защищаемой линии.

Сопротивление срабатывания защиты при коротком замыкании в зоне резервирования (т.е. на последующей линии)

$$z_{с.з.} \leq k'_q \cdot (z_{W1} + z_{W2}), \quad (69)$$

где $k'_q = 1, 2$ – коэффициент чувствительности;

z_{W1} и z_{W2} – сопротивления защищаемой и последующей линий.

Сопротивление срабатывания защиты при коротком замыкании в зоне резервирования за трансформатором

$$z_{с.з.} \leq k'_q \cdot (z_{W1} + z_T). \quad (70)$$

Сопротивление срабатывания защиты по условию отстройки от минимального значения сопротивления нагрузки

$$z_{с.з.} \leq \frac{0,9 \cdot U_{ном.}}{\sqrt{3} \cdot k'_H \cdot k'_в \cdot k_{зан.} \cdot I_{раб.макс.}}, \quad (71)$$

где $U_{ном.}$ – номинальное линейное напряжение сети;

$k_{зан.}$ – коэффициент запуска двигателей, определяемый расчетом;

$k_в = 1,3$ – коэффициент возврата защиты;

$k'_н = 1,2$ – коэффициент надежности;

$I_{раб.макс.}$ – максимальный ток нагрузки линии.

Сопротивление срабатывания защиты по условию согласования с последующей дистанционной защитой:

$$z_{с.з.1} \leq 0,85 \cdot (z_{W1} + z_{с.з.2}). \quad (72)$$

Сопротивление срабатывания защиты по условию согласования с последующей максимальной токовой защитой

$$z_{с.з.} \leq \frac{U_{ном.}}{2 \cdot k'_н \cdot I_{с.з.}} - z_{сист.мин.}, \quad (73)$$

где $I_{с.з.}$ – ток срабатывания последующей максимальной токовой защиты;

$k'_н = 1,15 \div 1,2$ – коэффициент надежности;

$z_{сист.мин.}$ – сопротивление системы до места установки дистанционной защиты в минимальном режиме работы сети.

Определяющее значение сопротивления срабатывания защиты выбирается по наименьшему значению сопротивлений, рассчитанных по формулам (69) – (73).

Сопротивление срабатывания реле – аналогично (67):

$$z_{ср.р.} = z_{с.з.} \cdot \frac{n_{ТА}}{n_{ТВ}}.$$

Характеристики выдержек времени комплектов защит в рассматриваемых сетях, как правило, плавные: время действия защиты $t_{с.з.}$ непрерывно (обычно – прямолинейно) изменяется с изменением расстояния l от места установки защиты до места повреждения. Такие характеристики показаны на рис. 7 (для упрощения – только для защит, установленных на левых концах линий).

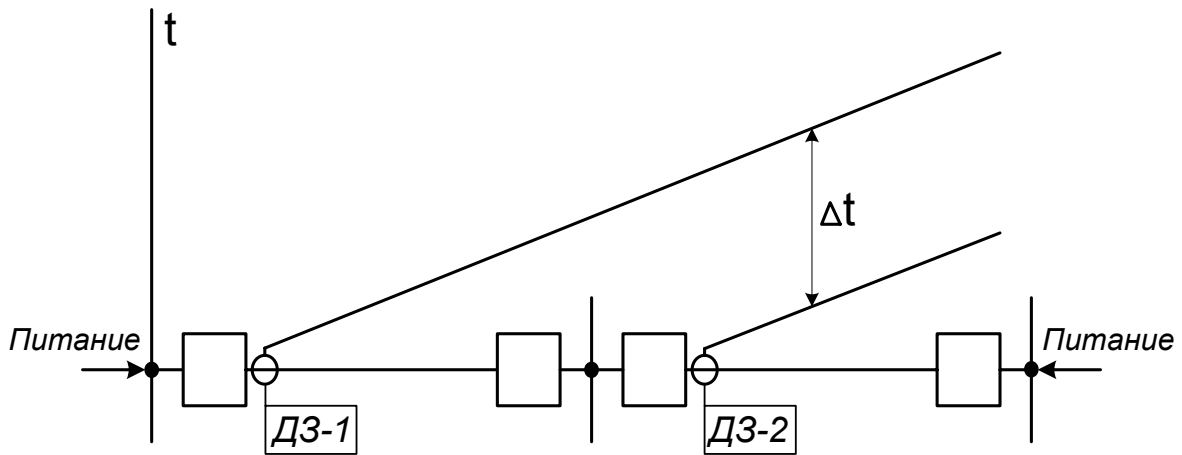


Рис. 7. Плавные характеристики выдержки времени.

Как видно из рисунка, защиты направленные (не действуют при $l < 0$) и каждая предыдущая защита резервирует последующую. Так, при отказе защиты ДЗ-2 действует с бóльшей выдержкой времени защита ДЗ-1. Разница во времени действия двух защит при повреждении в любой точке должна быть не меньше ступени селективности Δt .

Выдержка времени защиты

$$t_{c.з.1} = 0,9 \cdot z_{c.з.1} \cdot a, \quad (74)$$

где a – коэффициент наклона временной характеристики.

При согласовании времени действия двух смежных дистанционных защит при коротком замыкании в конце защищаемой линии коэффициент a определяется по формуле

$$a_1 = \frac{t_0 + \Delta t}{z_{W1}}, \quad (75)$$

где t_0 – независимая выдержка времени в начале зоны действия последующей защиты – принимается равной 0,25 - 0,5 с;

Δt – ступень селективности, равная 0,5 - 0,6 с.

При коротком замыкании в зоне резервирования

$$a_2 = \frac{a_{\text{носл.}} \cdot (z''_{c.з.1} - z_{W1}) + \Delta t}{z''_{c.з.1}}. \quad (76)$$

За расчетное значение a , определенное по (75) и (76), принимается большее.

При согласовании времени действия дистанционной защиты с последующей максимальной токовой или с предохранителями, коэффициент a определяется при коротких замыканиях в конце зоны действия дистанционной защиты и в зоне резервирования:

$$a_1 = \frac{t_1 + \Delta t}{z_{W1}}, \quad (77)$$

$$a_2 = \frac{t_2 + \Delta t}{z_{c.з.}}, \quad (78)$$

где t_1 – время действия максимальной токовой защиты с зависимой выдержкой времени или время плавления плавких вставок предохранителей при двухфазном КЗ в основной зоне;

t_2 – то же в зоне резервирования.

Ток двухфазного КЗ в конце зоны действия дистанционной защиты определяется по формуле

$$I_{КЗ}^{(2)} = \frac{U_{ном.}}{2 \cdot (z_{c.з.1} + z_{c.мин.})}, \quad (79)$$

где $z_{c.мин.}$ – минимальное сопротивление системы до места установки защиты.

Время плавления плавких вставок определяется по типовым ампер-секундным характеристикам при расчетном значении тока двухфазного КЗ

$$I_{КЗрасч.}^{(2)} = \frac{I_{КЗмин.}^{(2)}}{k'_н \cdot k''_н}, \quad (80)$$

где $k'_н$ – коэффициент надежности, равный 1,1 - 1,2;

$k''_н$ – коэффициент, учитывающий неточность работы предохранителей, – принимается равным 1,2.

За расчетное значение коэффициента a принимается большее из полученных по выражениям (77) и (78).

Контрольные вопросы к теме 4.3

1. Какой принцип действия положен в основу дистанционной защиты?
2. Из каких органов состоит трехступенчатая дистанционная защита?
3. Как выбираются уставки первой ступени ДЗ?
4. Какие виды характеристик срабатывания РС используются в современных ДЗ?
5. Каково назначение промежуточных преобразователей тока и напряжения в дистанционных защитах на интегральных микросхемах (ИМС)?
6. Какие виды блокировок необходимо применять в ДЗ?
7. Какие факторы влияют на работу измерительных органов ДЗ?
8. Каковы преимущества четырехугольной характеристики, применяемой на пусковых и дистанционных органах?

9. Принцип изображения характеристик срабатывания на комплексной плоскости.

10. Из каких четырех частей состоит структурная схема РС, выполненного на ИМС?

4.4. Высокочастотная блокировка действия защит.

При изучении темы необходимо разобраться с принципом передачи сигнала при высокочастотной обработке линии, с назначением высокочастотного заградителя и конденсатора связи, со схемой их подключения в линии. Усвоить принцип блокировки дистанционных и направленных токовых защит. Необходимо также разобраться с принципом действия дифференциально-фазной защиты линий.

Принцип действия направленной защиты с ВЧ-блокировкой.

Направленная ВЧЗ реагирует на направление (знак) мощности КЗ по концам защищаемой ЛЭП. Как видно из рис. 8, при КЗ на защищаемой ЛЭП (в точке $K1$) мощности КЗ на обоих концах поврежденного участка АВ имеют одинаковое направление: от шин в линию.

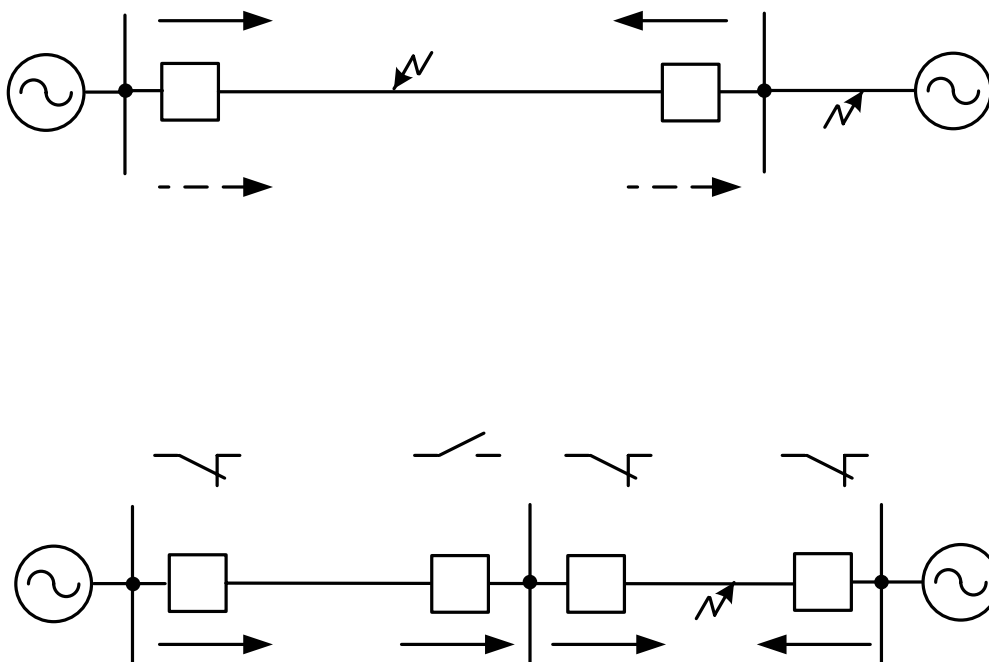


Рис. 8. Направление мощности по концам ЛЭП:
а) при КЗ на ЛЭП ($K1$) или за ее пределами ($K2$);
б) действие реле направления мощности в случае КЗ.

В случае же внешнего КЗ (точка $K2$) направления мощности по концам защищаемой ЛЭП различны. На ближайшем к месту повреждения конце (Б) ЛЭП мощность КЗ отрицательна (направлена к шинам), а на удаленном (конец А) – положительна (направлена от шин в ЛЭП).

Из этого следует, что, сравнивая направления мощности по концам защищаемой ЛЭП, можно определить, где возникло повреждение: на данной ЛЭП или за ее пределами. Такое сравнение осуществляется при помощи органов направления мощности KW (рис. 8,б), которые устанавливаются на обоих концах ЛЭП и включаются таким образом, чтобы при КЗ на защищаемой ЛЭП они разрешали действие высокочастотных защит на отключение.

Тогда при КЗ в точке $KЗ$ (рис. 8,б) на обоих концах поврежденной линии Б-В подействуют $KW3$ и $KW4$. На неповрежденной ЛЭП А-Б реле $KW1$ сработает, разрешая действие на отключение, однако на приемном конце Б линии А – Б под влиянием мощности КЗ, направленной к шинам, реле $KW2$ разомкнет контакты, чем запретит действие на отключение релейной защиты РЗ-2 и одновременно блокирует действие РЗ-1 посылкой ВЧ-сигнала по проводам этой же ЛЭП. Блокирующий сигнал посылается специальными генераторами ВЧ (ГВЧ) (рис. 9), управляемыми реле направления мощности, реагирующими на отрицательный знак мощности, и принимается специальными приемниками токов ВЧ (ПВЧ), настроенными на ту же частоту, что и генераторы. Приняв ВЧ-сигнал, приемники ВЧ подают ток в обмотку блокирующего реле КБ, которое размыкает цепь отключения РЗ.

При КЗ на защищаемой ЛЭП блокирующий ВЧ-сигнал отсутствует, так как оба реле мощности, срабатывая, не позволяют действовать ГВЧ на обоих концах ЛЭП. Контакты блокирующих реле остаются замкнутыми, разрешая комплектам РЗ действовать на отключение. Таким образом, блокирующий ВЧ-сигнал появляется в ЛЭП только при внешних КЗ, предотвращая неселективное действие РЗ. Зона действия РЗ ограничивается установленными по концам ЛЭП трансформаторами тока, к которым подключаются реле направления мощности. Например, выполнение дистанционной защиты с ВЧ-блокировкой позволяет «растянуть» зону действия первой ступени практически на всю защищаемую линию.

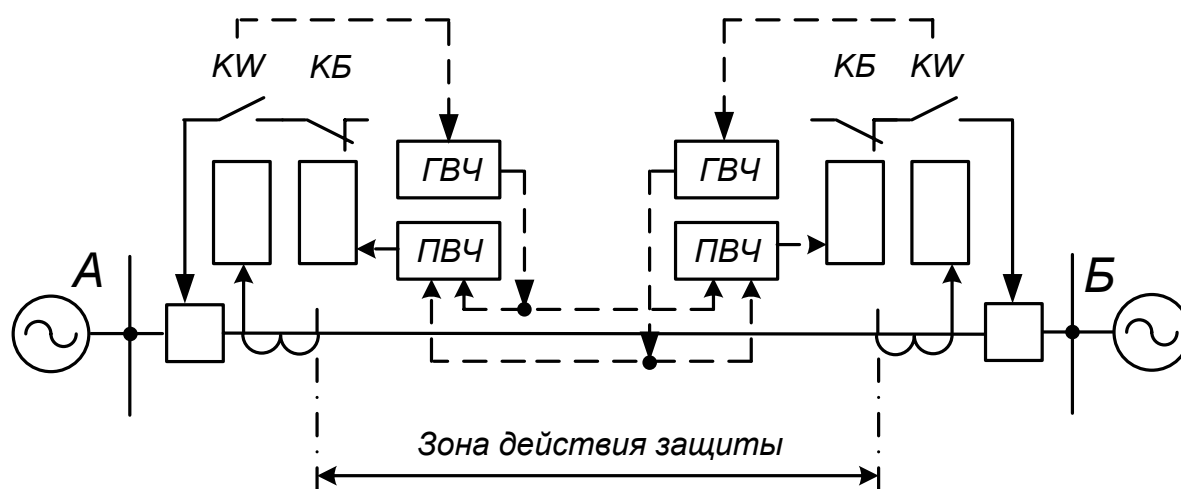


Рис. 9. Принцип действия направленной защиты с ВЧ-блокировкой.

Контрольные вопросы к теме 4.4

1. Принципы действия ВЧ-защит.
2. Из каких элементов состоит ВЧ-канал и каково их назначение?
3. Как осуществляется ВЧ-блокировка?
4. Из каких органов состоит дифференциально-фазная защита (ДФЗ)?
5. Почему в ДФЗ применяются два пусковых органа с разной чувствительностью?

4.5. Токовая защита нулевой последовательности.

Основная защита при замыканиях на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью. Следует понять схему подключения измерительных органов, принцип выбора уставок срабатывания основной и резервных ступеней защиты, особенности выполнения направленной ТЗНП. Сопоставить подходы, используемые при реализации ТЗНП, с выполнением защиты от замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью (см. выше).

Максимальная токовая защита нулевой последовательности.

Ток срабатывания защиты

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{нб.расч.}, \quad (81)$$

где k_n – коэффициент надежности, принимаемый 1,25;

$I_{нб.расч.}$ – расчетный ток небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока при внешних коротких замыканиях:

$$I_{нб.расч.} = k_a \cdot I_{нб.уст.}, \quad (82)$$

где k_a – коэффициент, учитывающий наличие апериодической составляющей в переходном режиме. Для защит с выдержками времени до 0,1 с. $k_a=2,0$; для защит с выдержкой времени до 0,3 с. $k_a=1,5$;

$I_{нб.уст.}$ – установившийся ток небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока при внешних коротких замыканиях:

$$I_{нб.уст.} = k_{одн.} \cdot \varepsilon \cdot I_{расч.}^{(3)}, \quad (83)$$

где $k_{одн.}$ – коэффициент, учитывающий однотипность трансформаторов тока, принимаемый равным 0,5, если трансформаторы одинаковые, и 1,0 – если разные;

ε – относительная максимально возможная полная, погрешность трансформаторов тока при внешних коротких замыканиях, для электромеханических реле принимаемая равной 0,1 (10%);

$I_{расч.}^{(3)}$ – расчетный ток внешнего трехфазного короткого замыкания.

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}}{n_{ТА}}. \quad (84)$$

Выдержка времени защиты

$$t_{защ.} = t_{прис.} + \Delta t, \quad (85)$$

где $t_{защ.} = t_{прис.} + \Delta t$ – выдержка времени защиты, с которой ведется согласование.

Чувствительность защиты:

$$k_{ч} = \frac{3I_{0мин.}}{I_{с.з.}}, \quad (86)$$

где $3I_{0мин.}$ – минимальный ток нулевой последовательности при однофазном или двухфазном коротком замыкании на землю в конце второго участка.

Токвые отсечки нулевой последовательности линии.

Ток срабатывания отсечки

$$I_{с.ТО} = k_n \cdot I_{расч.}, \quad (87)$$

где k_n – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2-1,3 для отсечек без выдержек времени и 1,1 – для отсечек с выдержкой времени;

$I_{расч.}$ – расчетный ток (утроенный ток нулевой последовательности), от которого защита должна быть отстроена.

Для отсечек без выдержек времени:

$$I_{расч.} = 3I_{0макс.}, \quad (88)$$

где $I_{0макс.}$ – максимальный ток нулевой последовательности, проходящий в месте установки защиты при коротком замыкании на землю на шинах противоположной подстанции.

Для отсечек с выдержкой времени:

$$I_{расч.} = I_{с.ТО-2}, \quad (89)$$

где $I_{с.ТО-2}$ – ток срабатывания первой ступени защиты нулевой последовательности следующей линии.

Время срабатывания отсечки с выдержкой времени

$$t_{с.ТО-1}^{II} = t_{с.ТО-2}^I + \Delta t, \quad (90)$$

где $t_{с.ТО-2}^I$ – выдержка времени первой ступени защиты нулевой последовательности следующей линии;

Δt – ступень селективности, определяемая по формуле (22).

Зоны действия отсечек определяются графически, по точке пересечения кривой изменения тока замыкания на землю и прямой тока срабатывания защиты.

Отсечка считается эффективной, если защищает не менее 15-20% длины линии.

Токовые направленные защиты нулевой последовательности.

Токовые направленные защиты нулевой последовательности устанавливаются на линиях с двусторонним питанием при заземленных нейтралях трансформаторов, расположенных с обеих сторон рассматриваемого участка сети.

Уставки срабатывания защиты выбираются аналогично ненаправленной защите нулевой последовательности по формулам (81) – (88), но дополнительно проверяется чувствительность реле направления мощности по формуле:

$$k_{\text{ч}} = \frac{(3I_{0\text{мин.}}^{(1)})^2 \cdot x_{0\text{сист.}}}{n_{TA} \cdot n_{TV} \cdot S_{с.р.}}, \quad (91)$$

где $3I_{0\text{мин.}}^{(1)}$ – утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты в минимальном режиме работы сети;

$x_{0\text{сист.}}$ – наименьшее сопротивление нулевой последовательности системы до места установки защиты;

n_{TA}, n_{TV} – коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения.

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 2,0 при замыкании на землю в конце защищаемой линии и не менее 1,5 – при замыкании на землю в конце зоны резервирования.

Выдержки времени многоступенчатых защит выбираются по встречно-ступенчатому принципу.

Контрольные вопросы к теме 4.5

1. Какой тип реле мощности применяется в защитах от замыканий на землю?

2. Как изменится ток однофазного КЗ при увеличении числа заземленных нейтралей в сети?

3. Как графоаналитическим методом определить ток срабатывания второй ступени?

4. С какой целью составляются комплексные схемы замещения при расчете защит нулевой последовательности?

5. Что означает коэффициент токораспределения?

5. Релейная защита трансформаторов.

5.1. Общие требования к защите.

Прежде чем разбираться с принципами работы и исполнением защит, необходимо проработать следующие вопросы:

допустимая перегрузка трансформаторов, требования правил технической эксплуатации (ПТЭ), допустимое время и степень перегрузки;

междуфазные замыкания в обмотках и на выводах трансформатора: характеристика режима, требования к защите, применяемые защиты;

замыкания на землю и на корпус в обмотках и на выводах трансформатора: характеристика режима, требования к защите, применяемые защиты.

5.2. Защиты трансформаторов от внутренних повреждений.

Необходимо уяснить назначение, принцип действия, виды реле газовой защиты; возможность и порядок перевода газовой защиты с отключения на сигнал; назначение, область применения и расчет уставок токовой отсечки трансформаторов.

Поскольку дифференциальная защита трансформаторов является одной из наиболее сложных, ниже рассматривается алгоритм ее расчета. Но прежде следует понять принцип действия продольной токовой дифференциальной защиты, разобраться с таким специфическим понятием как ток небаланса защиты и его составляющие, а также с компенсацией углового сдвига в схеме дифференциальной защиты.

Продольная дифференциальная защита трансформаторов.

Принципы выполнения защиты.

Продольная дифференциальная защита устанавливается на трансформаторах мощностью 6300 кВА и более, а также на трансформаторах 4000 кВА при их параллельной работе с целью селективного отключения поврежденного трансформатора. Защита может быть установлена на трансформаторах мощностью 1000 кВА и более, если отсутствует газовая защита, токовая отсечка не удовлетворяет требованиям чувствительности, а максимально-токовая защита имеет выдержку времени более 0,5 с.

Ток срабатывания защиты выбирают, исходя из двух условий:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{нб.макс.}, \quad (92)$$

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{ном.}, \quad (93)$$

где k_n – коэффициент надежности, равный 1,3;

$I_{ном.}$ – номинальный ток трансформатора;

$I_{нб.макс.}$ – максимальный ток небаланса, определяемый по формуле:

$$I_{нб.макс.} = I_{нб.}^I + I_{нб.}^{II} + I_{нб.}^{III} + I_{нб.}^{IV}, \quad (94)$$

где $I_{нб.}^I$ – первая составляющая тока небаланса, обусловленная неидентично-

стью характеристик намагничивания трансформаторов тока;

$I_{нб.}^{II}$ – вторая составляющая тока небаланса, связанная с наличием у силовых трансформаторов устройств регулирования напряжения под нагрузкой (РПН);

$I_{нб.}^{III}$ – третья составляющая тока небаланса, появляющаяся при неравенстве вторичных токов в плечах защиты;

$I_{нб.}^{IV}$ – четвертая составляющая тока небаланса, обусловленная несоответствием расчетных чисел витков обмоток быстро насыщающегося трансформатора установленным.

Первая составляющая тока небаланса:

$$I_{нб.}^I = k_a \cdot k_{одн.} \cdot \varepsilon \cdot I_{расч.}^{(3)}, \quad (95)$$

где k_a – коэффициент, учитывающий наличие апериодической составляющей в переходном режиме, принимается равным 2;

$k_{одн.}$ – коэффициент, характеризующий однотипность трансформаторов тока, принимается равным 1;

ε – полная погрешность трансформаторов тока, принимается равной 0,1 (10%);

$I_{расч.}^{(3)}$ – периодическая слагающая тока внешнего металлического трехфазного КЗ (при $t = 0$) на стороне, противоположной источнику питания, – рис. 10,а. Если питание – двустороннее, то в качестве $I_{расч.}^{(3)}$ берется больший из двух токов – $I_{КЗ-1}^{(3)}$ или $I_{КЗ-2}^{(3)}$, приведенных к одной ступени напряжения (рис. 10,б). Для случая, показанного на рис. 10,в, $I_{расч.}^{(3)} = I_{КЗ-G1,2}^{(3)}$.

Вторая составляющая тока небаланса:

$$I_{нб.}^{II} = \left(\frac{\Delta N_{\alpha} \%}{100} \cdot k_{ток.\alpha} + \frac{\Delta N_{\beta} \%}{100} \cdot k_{ток.\beta} \right) \cdot I_{расч.}^{(3)}, \quad (96)$$

где $\Delta N_{\alpha} \%$, $\Delta N_{\beta} \%$ – пределы регулирования напряжения на сторонах трансформатора. У трансформатора без РПН можно принимать $\Delta N \% = \pm 5\%$. При наличии РПН $\Delta N \%$ берется в пределах (10÷18)% и уточняется по справочникам;

$k_{ток.\alpha}$, $k_{ток.\beta}$ – коэффициенты токораспределения, равные отношению слагающих тока расчетного внешнего КЗ, проходящих на сторонах, где производится регулирование напряжения, к току на стороне, где рассматривается КЗ.

Для рис. 10,в $k_{ток.α} = I_{K3-G1}^{(3)} / I_{K3-G1,2}^{(3)}$, $k_{ток.β} = I_{K3-G2}^{(3)} / I_{K3-G1,2}^{(3)}$.

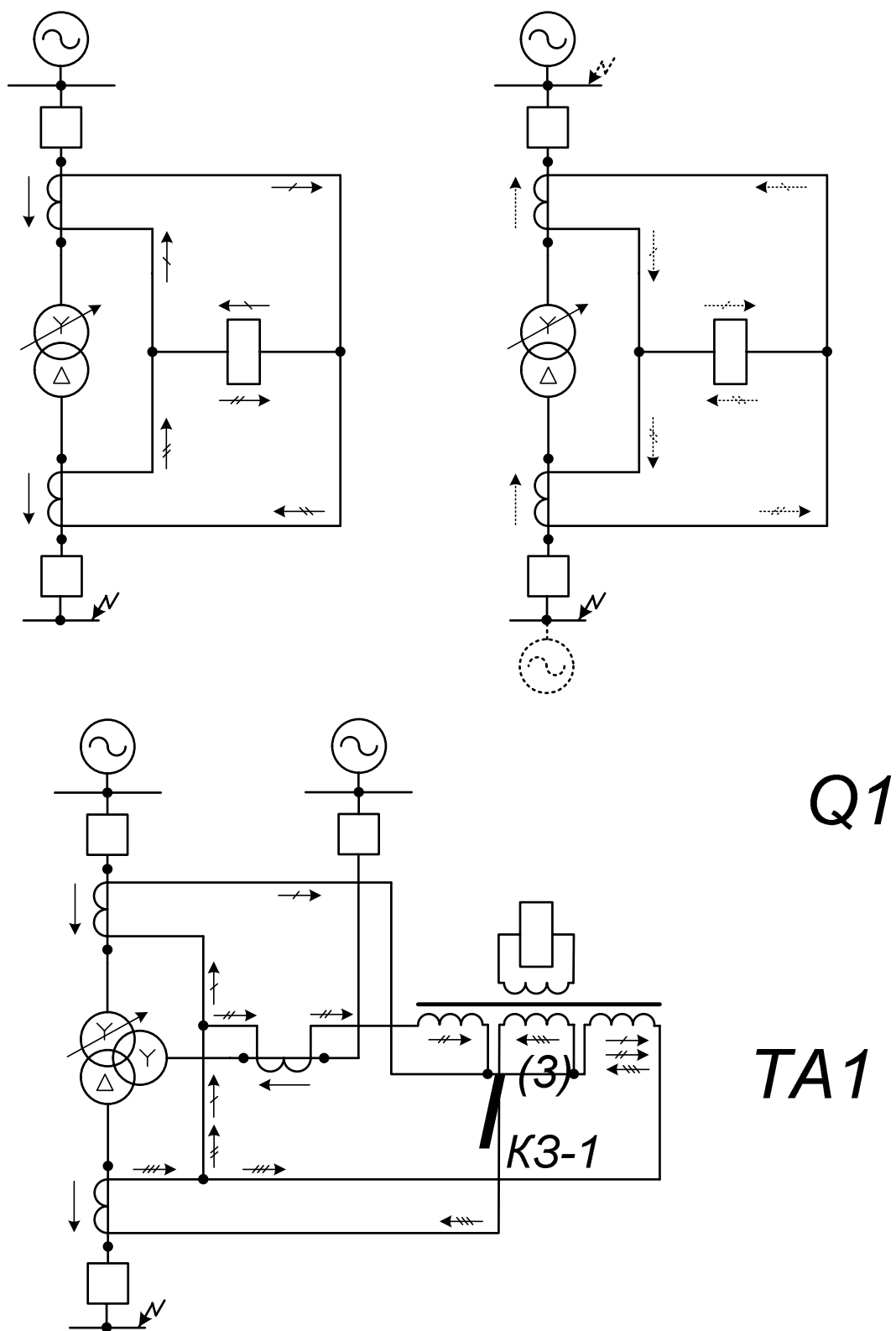


Рис. 10. Принцип выполнения дифференциальной защиты трансформатора а,б – двухобмоточного, в – трехобмоточного, с использованием реле с БНТ.

Третья составляющая тока небаланса $I_{нб.}^{III}$ учитывается только при выполнении дифференциальной защиты трансформатора с применением обычных токовых реле, т.е. как дифференциальной токовой отсечки двухобмоточного трансформатора. Если используется реле с БНТ (РНТ-565, ДЗТ-13, ДЗТ-21), эта составляющая тока небаланса во внимание не принимается, поскольку подбор числа витков $W_{уст.1}$ и $W_{уст.2}$ позволяет почти уравнивать магнитные потоки, создаваемые вторичными токами I' и I'' (рис. 10 а,б).

$$I_{нб.}^{III} = \frac{|I_{втор.ВН} - I_{втор.НН}|}{I_{втор.ВН}} \cdot I_{расч.}^{(3)}, \quad (97)$$

где $I_{втор.ВН}$ и $I_{втор.НН}$ – вторичные токи в плечах дифференциальной защиты (на рис. 10 а,б – токи I' и I'').

Четвертая составляющая тока небаланса

$$I_{нб.}^{IV} = \frac{|W_{расч.1} - W_{уст.1}|}{W_{расч.1}} \cdot I_{расч.1}^{(3)} + \frac{|W_{расч.2} - W_{уст.2}|}{W_{расч.2}} \cdot I_{расч.2}^{(3)}, \quad (98)$$

где $W_{расч.1}$ и $W_{расч.2}$ – расчетные числа витков обмоток БНТ для неосновных сторон;

$W_{уст.1}$ и $W_{уст.2}$ – числа витков, принятые к установке согласно схеме реле;

$I_{расч.1}^{(3)}$ и $I_{расч.2}^{(3)}$ – периодические слагающие токов внешнего трехфазного короткого замыкания (при $t = 0$), проходящих по сторонам, где используются соответствующие числа витков $W_{уст.1}$ и $W_{уст.2}$ обмоток БНТ.

Четвертую составляющую тока небаланса в первом цикле расчетов дифференциальной защиты не учитывают; она принимается во внимание после расчета $W_{расч.1}$ и $W_{расч.2}$ и выбора $W_{уст.1}$ и $W_{уст.2}$.

Для двухобмоточных трансформаторов в формулах (96) и (98) исключаются вторые правые части.

В случае, если ток асинхронного режима (ток качаний) окажется больше расчетного тока короткого замыкания, в выражения (95) – (98) следует подставлять ток асинхронного режима.

Для защит блоков генератор-трансформатор ток срабатывания дополнительно определяется по третьему условию:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I'_{КЗмакс.}, \quad (99)$$

где $I'_{КЗмакс.}$ – периодическая составляющая тока трехфазного короткого замыкания (при $t = 0$) за трансформатором или реактором ответвления к собственным нуждам в максимальном режиме работы станции и системы при отсутствии на этом ответвлении трансформаторов тока дифференциальной защиты.

За расчетный ток срабатывания принимается больший из полученных по (92), (93) и (99) значений.

Первичные токи (расчетные) на сторонах защищаемого трансформатора:

$$I_{перв.расч.i} = \frac{S_{ном.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.i}}, \quad (100)$$

где $U_{ном.i}$ – номинальные напряжения соответствующих сторон трансформатора.

Коэффициент трансформации трансформаторов тока при соединении вторичных обмоток в «звезду»:

$$n_{TAi} = \frac{I_{перв.i}}{I_{втор.i}}. \quad (101)$$

Для трансформаторов тока, соединенных в «треугольник», коэффициент трансформации определяется по формуле:

$$n_{TAi} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{перв.i}}{I_{втор.i}}. \quad (102)$$

Здесь $I_{перв.i}$ – ближайшее к расчетному значение первичного номинального тока трансформаторов тока, которое подбирается из справочников так, чтобы вторичные токи в плечах защиты – I' , I'' и I''' (рис. 10 в) – не превышали 5 А.

Вторичные токи, протекающие в реле:

$$I_{втор.i} = \frac{k_{сх.} \cdot I_{перв.i}}{n_{TAi}}. \quad (103)$$

где $k_{сх.}$ – коэффициент, учитывающий схему соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и катушек реле. Для схемы «треугольник – звезда» $k_{сх.} = \sqrt{3}$, для схемы «звезда – звезда» – $k_{сх.} = 1$.

Ток срабатывания реле:

$$I_{c.p.} = \frac{k_{cx} \cdot I_{c.з.}}{n_{ТА}} \quad (104)$$

Предварительная проверка на чувствительность

$$k_{ч} = \frac{I_{p.полн.}}{I_{c.p.}}, \quad (105)$$

где $I_{p.полн.}$ – ток в катушке реле в предположении, что он проходит по трансформаторам тока только на одной из сторон; определяется из табл. 2.

Таблица 2

Формулы для определения тока в катушке реле

Вид КЗ	Вторичный ток в плече защиты $I_{p.полн.}$		
	высшего напряжения	среднего напряжения	низшего напряжения
1	2	3	4
Трёхфазное на стороне звезды высшего напряжения	$\frac{\sqrt{3} \cdot I_{КЗв.н.}}{n_{ТАв.н.}}$	$\frac{\sqrt{3} \cdot I_{КЗс.н.}}{n_{ТАс.н.}}$	$\frac{I_{КЗн.н.}}{n_{ТАн.н.}}$
Трёхфазное на стороне треугольника низшего напряжения	$\frac{\sqrt{3} \cdot I_{КЗв.н.}}{n_{ТАв.н.}}$	$\frac{\sqrt{3} \cdot I_{КЗс.н.}}{n_{ТАс.н.}}$	$\frac{I_{КЗн.н.}}{n_{ТАн.н.}}$
Двухфазное на стороне звезды высшего напряжения	$\frac{2 \cdot I_{КЗв.н.}}{n_{ТАв.н.}}$	$\frac{2 I_{КЗс.н.}}{n_{ТАс.н.}}$	$\frac{2 \cdot I_{КЗн.н.}}{\sqrt{3} \cdot n_{ТАн.н.}}$
Двухфазное на стороне звезды среднего напряжения	$\frac{2 \cdot I_{КЗв.н.}}{\sqrt{3} \cdot n_{ТАв.н.}}$	$\frac{2 I_{КЗс.н.}}{\sqrt{3} \cdot n_{ТАс.н.}}$	$\frac{2 \cdot I_{КЗн.н.}}{\sqrt{3} \cdot n_{ТАн.н.}}$
Двухфазное на стороне треугольника низшего напряжения	$\frac{\sqrt{3} \cdot I_{КЗв.н.}}{n_{ТАв.н.}}$	$\frac{\sqrt{3} \cdot I_{КЗс.н.}}{n_{ТАс.н.}}$	$\frac{I_{КЗн.н.}}{n_{ТАн.н.}}$
Однофазное на землю на стороне звезды высшего напряжения при отключенном выключателе этой стороны и отсутствии питания со стороны среднего напряжения	–	–	$\frac{I_{КЗн.н.}}{\sqrt{3} \cdot n_{ТАн.н.}}$

Примечание: $I_{КЗв.н.}$, $I_{КЗс.н.}$, $I_{КЗн.н.}$ – токи, протекающие при указанном повреждении по сторонам высшего, среднего и низшего напряжения трансформатора и приведенные к соответствующей ступени напряжения;

$n_{ТАв.н.}$, $n_{ТАс.н.}$, $n_{ТАн.н.}$ – коэффициенты трансформации трансформаторов тока, установленных на сторонах высшего, среднего и низшего напряжения.

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 2. Если коэффициент чувствительности получился меньше 2, следует применять защиту с более совершенным реле.

Дифференциальная токовая отсечка.

Применяется на двухобмоточных трансформаторах малой мощности и выполняется с помощью простых токовых реле, действующих на отключение без выдержки времени. Для облегчения отстройки от бросков намагничивающего тока, выходное промежуточное реле отсечки берется со временем действия 0,04-0,06 с.

Ток срабатывания выбирается из условий (92) и (93), но в формуле (93) коэффициент k_n берется в пределах $k_n = 3 \div 5$, чтобы отстроить защиту от броска апериодического тока намагничивания. В токе небаланса учитываются три первые составляющие. Больше из двух значений тока срабатывания принимается за расчетное.

Вторичный ток срабатывания защиты определяется по (104), и по нему выбирается токовое реле.

Проверка по чувствительности производится по (105) при двухфазном КЗ в зоне действия защиты на стороне трансформатора, противоположной питанию, в минимальном режиме. Если коэффициент чувствительности меньше 2, то применяется дифференциальная токовая защита на реле со встроенным БНТ – серии РНТ-560 и ДЗТ-11.

Дифференциальная токовая защита, выполненная на реле серии РНТ.

На вновь вводимом оборудовании, в соответствии с рекомендациями [1, 2] следует применять реле с торможением. Расчет для реле РНТ-565, приведенный ниже, дан в связи с тем, что реле еще используется в эксплуатации.

Как уже указывалось, реле имеет встроенный промежуточный быстросыщающийся трансформатор, служащий для отстройки от броска апериодической составляющей тока намагничивания, а также позволяющий выравнивать магнитные потоки от вторичных токов в плечах защиты за счет подбора необходимого числа витков дифференциальной $W_{диф}$. и уравнивательных $W_{ур.1}$ и $W_{ур.2}$ обмоток (рис. 10 в).

Ток срабатывания выбирается из условий (92) и (93). В токе небаланса первоначально учитываются две первые составляющие, причем при расчете $I_{нб}^I$. коэффициент k_a берется равным единице. Больше из двух значений тока срабатывания принимается за расчетное.

По формуле (104) определяется вторичный ток срабатывания защиты $I_{с.р.осн.}$, а затем по выражению (105) выполняется предварительная проверка по чувствительности. Если $k_q \geq 2$, то расчет продолжается и производится выбор числа витков обмоток реле РНТ-565. Если условие не выполняется, следует сразу перейти к расчету реле с торможением.

Число витков обмотки БНТ на основной стороне (т.е. на стороне с бóльшим вторичным током $I_{втор.i}$):

$$W_{осн.расч.} = \frac{F_{с.р.}}{I_{с.р.осн.}}, \quad (106)$$

где $F_{с.р.}$ – намагничивающая сила срабатывания реле, принимается равной 100 А·витков;

$I_{с.р.осн.}$ – ток срабатывания реле на основной стороне.

К установке предварительно принимается ближайшее к $W_{осн.расч.}$ меньшее целое число витков, которое можно выставить на переключающих колодках обмоток реле – $W_{осн.уст.}$. У реле РНТ-565 на дифференциальной обмотке можно установить от 8 до 35 витков с интервалом в один виток, на уравнильных – от 0 до 34 витков, также с интервалом в один виток. Использовать можно все обмотки или только уравнильные (в последнем случае снимается накладка 2-4 – рис. 11).

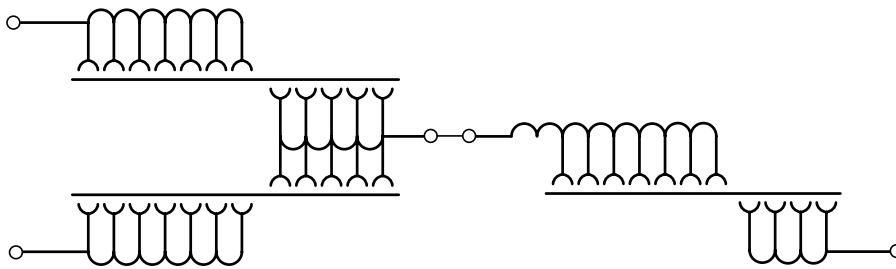


Рис. 11. Отводы первичных обмоток промежуточного быстронасыщающегося трансформатора реле РНТ-565.

Число витков обмоток БНТ на неосновных сторонах

$$W_{расч.1} = W_{осн.уст.} \cdot \frac{I_{втор.осн.}}{I_{втор.1}}, \quad (107)$$

$$W_{расч.2} = W_{осн.уст.} \cdot \frac{I_{втор.осн.}}{I_{втор.2}}, \quad (108)$$

где $I_{втор.осн.}$, $I_{втор.1}$, $I_{втор.2}$ – вторичные токи в плечах защиты на основной и неосновных сторонах, определяемые по формуле (103).

Число витков на неосновных сторонах округляется до ближайшего целого – $W_{уст.1}$ и $W_{уст.2}$. Уточняется значение тока небаланса с учетом четвертой составляющей, пересчитывается первичный и вторичный ток срабатывания защиты и при необходимости – соответствующие числа витков обмоток БНТ (по формулам (106), (107) и (108)).

По окончательно принятому к установке $w'_{осн.уст.}$ определяется ток срабатывания защиты:

$$I'_{с.з.} = \frac{I_{с.р.осн.} \cdot n_{ТА}}{k_{сх.}} = \frac{(F_{с.р.}/w'_{осн.уст.}) \cdot n_{ТА}}{k_{сх.}} \quad (109)$$

и сравнивается с уточненным током небаланса. Если $(I'_{с.з.}/I_{нб.уточн.}) \geq 1,3$ – расчет заканчивается. Если неравенство не соблюдается, то следует принять для основной стороны меньшее число витков и расчет повторить.

В заключение необходимо проверить чувствительность защиты, соответствующую принятому числу витков обмоток БНТ:

$$k_{ч} = \frac{\sum I_{р.} \cdot w}{F_{с.р.}} = \frac{I_{втор.осн.} \cdot w'_{осн.уст.} + I_{втор.і} \cdot w_{уст.і}}{F_{с.р.}} \geq 2, \quad (110)$$

где $I_{втор.осн.}$, $I_{втор.і}$ – вторичные токи в плечах защиты на отдельных сторонах с учетом их знака при рассматриваемом случае повреждения.

Продольная дифференциальная защита трансформаторов, выполненная с помощью реле с торможением.

Использование тормозной обмотки дает возможность не отстраивать защиту от токов небаланса при таких внешних КЗ, когда торможение обеспечивает несрабатывание защиты. В двухобмоточных трансформаторах эффект торможения проявляется при любом внешнем КЗ; в трехобмоточных, как правило, используют специальные схемы включения тормозной обмотки, сведения о которых приведены ниже.

В результате ток срабатывания защиты определяется только по (93). Предварительная проверка на чувствительность проводится так же, как и для реле РНТ-565. Расчетные числа витков обмоток БНТ определяются по формулам (106) – (108).

Расчетная рабочая намагничивающая сила:

$$F_{р.расч.} = k_n \cdot k_{сх.} \cdot \frac{I_{нб.уточн.} \cdot w_{расч.}}{n_{ТА}}, \quad (111)$$

где k_n – коэффициент надежности, равный 1,5;

$I_{нб.уточн.}$ – уточненный ток небаланса с учетом четвертой составляющей;

$w_{расч.}$ – число витков рабочей обмотки реле на стороне, к которой подключена тормозная обмотка. При этом, если рассматриваемая сторона является основной, то в качестве $w_{расч.}$ берется принятое к установке число витков;

если сторона – неосновная, то в качестве $w_{расч.}$ берется расчетное (т.е. без округления) число витков.

Тормозная намагничивающая сила:

$$F_{т.расч.} = k_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{F_{р.расч.}}{100}\right)^2 - 1}, \quad (112)$$

где k_1 – коэффициент, для реле серии ДЗТ-11 равный 135,8; для реле ДЗТ-13 – 449,1; для реле ДЗТ-14 – 610,2.

Тормозной ток:

$$I_{торм.} = \frac{k_{сх.} \cdot I_{КЗi}^{(3)}}{n_{ТА}}, \quad (113)$$

где $I_{КЗi}^{(3)}$ – максимальный ток внешнего трехфазного КЗ на стороне, где установлена тормозная обмотка.

Число витков тормозной обмотки

$$w_{торм.расч.} = \frac{F_{т.расч.}}{I_{торм.}}. \quad (114)$$

Принимается к установке ближайшее целое число витков $w_{торм.уст.}$, которое можно установить на реле (рис. 12).

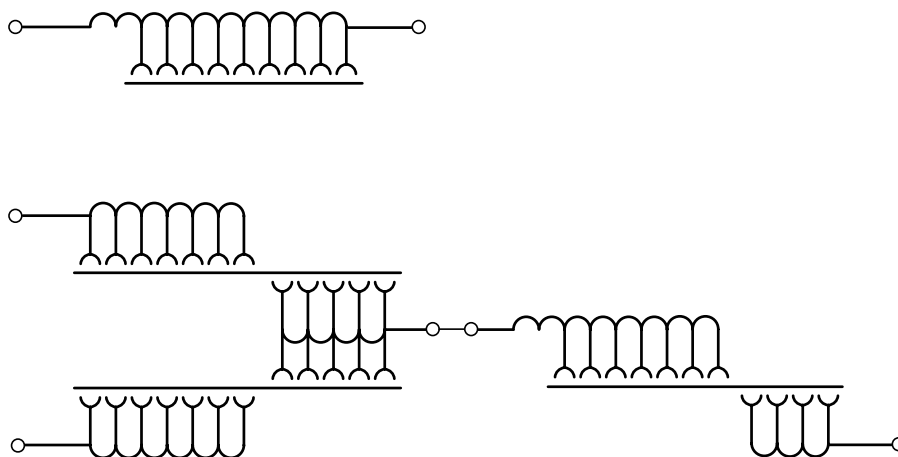


Рис. 12. Отводы первичных обмоток БНТ реле ДЗТ-11.

Чувствительность защиты при наличии торможения:

$$k_{\text{ч}} = \frac{F_{\text{р.}}}{F_{\text{р.ср.}}} \quad (115)$$

Здесь $F_{\text{р.}}$ – рабочая намагничивающая сила реле:

$$F_{\text{р.}} = w_{\text{р.нит.}} \cdot I_{\text{р.втор.полн.}}, \quad (116)$$

где $I_{\text{р.втор.полн.}}$ – вторичный ток в рабочей обмотке реле при рассматриваемом металлическом КЗ. Если питание – многостороннее, то предполагается, что этот ток полностью проходит по основной стороне;

$w_{\text{р.нит.}}$ – число витков обмотки БНТ, используемых на питающей стороне (при многостороннем питании – на основной стороне).

В знаменателе формулы (115) – рабочая намагничивающая сила срабатывания реле, определяемая по формуле

$$F_{\text{р.ср.}} = \frac{100}{1 - k_2 \cdot (F_{\text{т.расч.}} / F_{\text{р.}})}, \quad (117)$$

где k_2 – коэффициент, принимаемый для реле серии ДЗТ-11 равным 0,9618; для реле ДЗТ-13 – 0,35; для реле ДЗТ-14 – 0,3.

Чувствительность защиты при отсутствии торможения определяется по формуле (110). В обоих случаях коэффициент чувствительности должен быть не менее 2.

Место включения тормозных обмоток.

Тормозную обмотку рекомендуется включать:

на двухобмоточных трансформаторах с односторонним питанием – в плечо, противоположное источнику питания (рис. 13, а);

на трехобмоточных понижающих трансформаторах с односторонним питанием – в плечо той стороны трансформатора, где внешнее КЗ вызывает больший ток (рис. 13 б).

В тех случаях, когда чувствительность защиты окажется все же недостаточной, а расчетным является условие отстройки от токов небаланса на стороне, где отсутствует торможение, рекомендуется включать тормозную обмотку на сумму вторичных токов сторон среднего (СН) и низкого (НН) напряжения (рис. 14 а,б).

Дифференциальная токовая защита ошиновки высшего среднего) напряжения автотрансформаторов.

На автотрансформаторах с двумя выключателями на стороне ВН (СН) при включении дифференциальной защиты на трансформаторы тока в цепях выключателей (ТА1, ТА2 – рис. 15) будет иметь место торможение от тока нагрузки линии, проходящего по ветвям выключателей. В результате возможно снижение чувствительности защиты. Поэтому предусматривается два

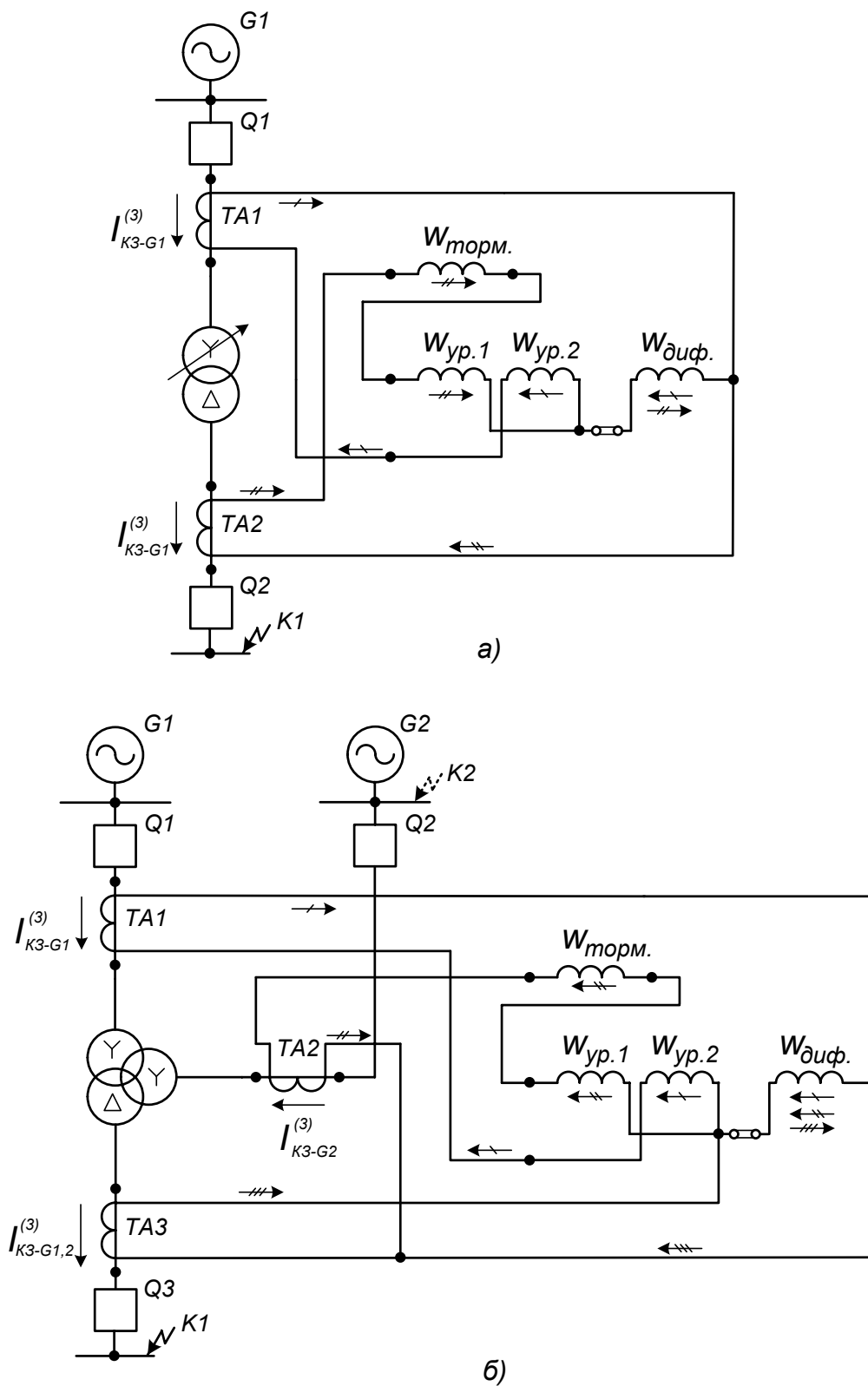


Рис. 13. Схемы включения тормозных обмоток реле ДЗТ-11
 а – в защите двухобмоточного трансформатора, б – в защите
 трехобмоточного трансформатора (в плечо с бóльшим током
 внешнего КЗ в точке К2).

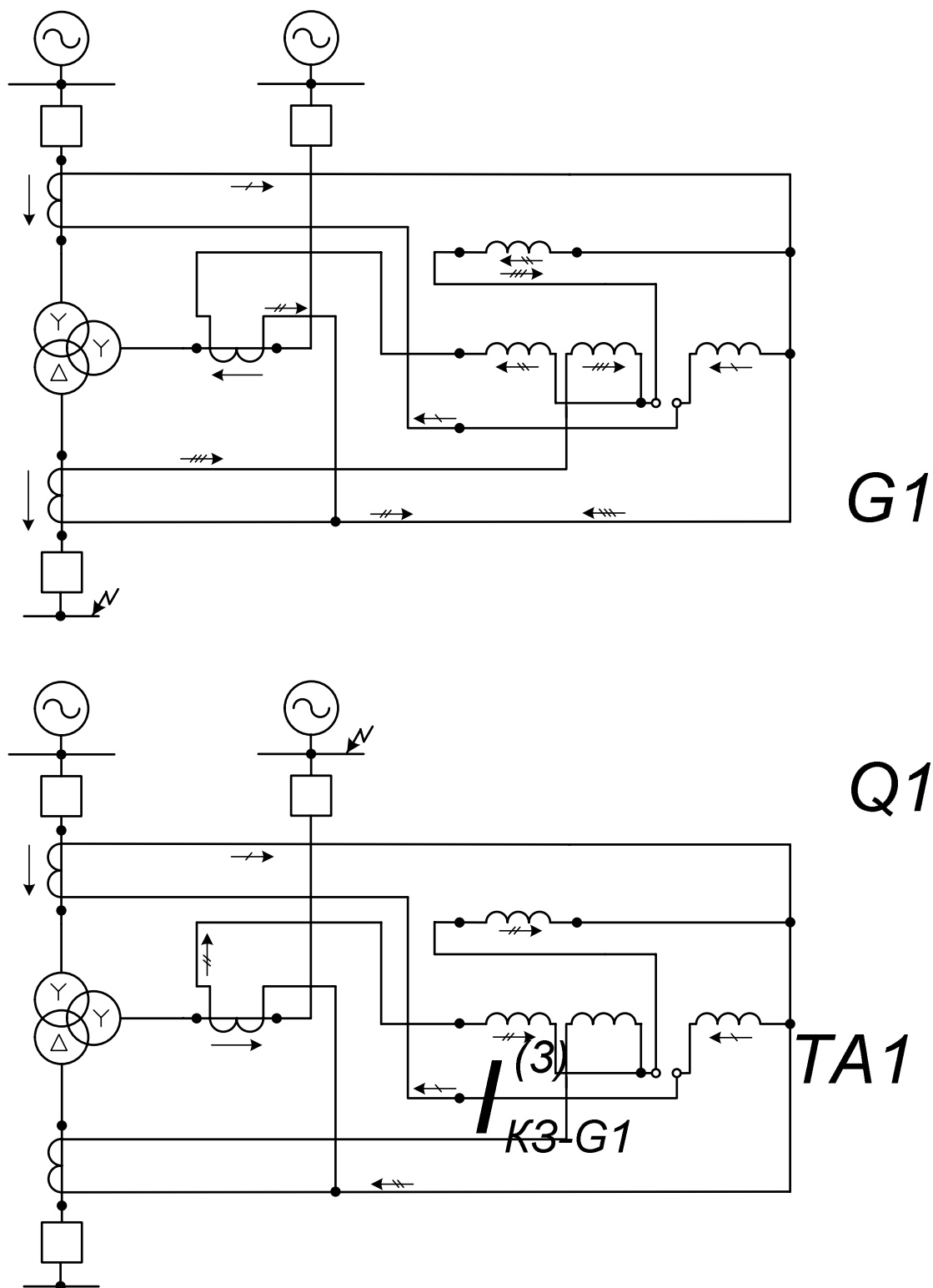


Рис. 14. Включение тормозных обмоток реле ДЗТ-11 на сумму токов сторон среднего и низкого напряжения: а – внешнее КЗ на стороне НН, в тормозной обмотке – ток I''' , б – внешнее КЗ на стороне СН – ток I''' .

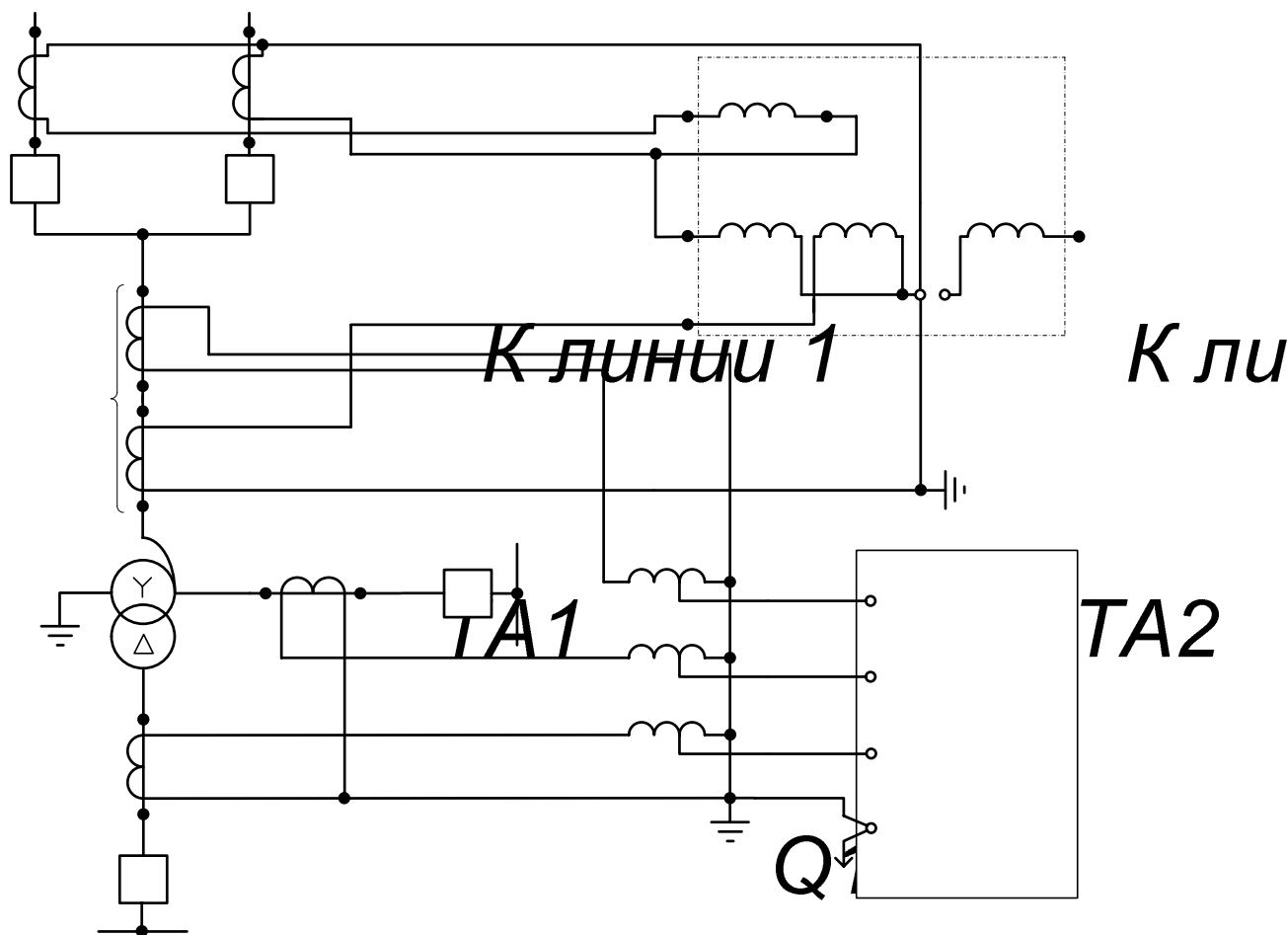


Рис. 15. Принципиальная схема выполнения дифференциальной защиты автотрансформатора (реле ДЗТ-21) и дифференциальной защиты ошиновки (реле ДЗТ-11).

комплекта защиты – собственно автотрансформатора (АТ), подключаемая к трансформаторам тока ТАЗ, встроенным во втулки высоковольтных вводов АТ, и дифференциальная защита ошиновки (рис. 15).

Первичный ток срабатывания защиты ошиновки выбирается по условию отстройки от расчетного тока небаланса $I_{нб.расч.}$ при переходном режиме внешнего КЗ в случае отсутствия торможения, т.е. при отключенном выключателе, на ток в цепи которого включена тормозная обмотка реле (для рис. 15 – отключен Q1).

При этом должно рассматриваться КЗ, внешнее по отношению к дифференциальным защитам собственно автотрансформатора и его ошиновок. Для схемы на рис. 15, если считать, что питание – от линии 2, внешним будет КЗ либо за выключателем Q3, либо за выключателем Q4. Больше из токов КЗ принимается за расчетный при определении тока небаланса.

Отстройка производится по формуле, аналогичной (92)

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{нб.макс.} \quad (118)$$

при этом k_n принимается равным 1,5.

Затем по (104) определяется ток срабатывания реле, по (106) и (107) – расчетное и установленное число витков уравнительных обмоток БНТ. Округление числа витков – по тем же правилам, что и прежде.

Недействие защиты при внешних КЗ на стороне, где установлена рассматриваемая защита, в случаях, когда включены оба выключателя – Q1 и Q2 – и токи КЗ не ограничиваются сопротивлением автотрансформатора, обеспечивается торможением.

Расчет требуемого числа витков тормозной обмотки реле производится по формуле:

$$W_{\text{торм.расч.}} \geq k_n \cdot \frac{I_{\text{нб.расч.}} \cdot W_{\text{раб.}}}{I_{\text{торм.}} \cdot \text{tg} \beta}, \quad (119)$$

в которой $I_{\text{нб.расч.}}$ – первичный ток небаланса с учетом четвертой составляющей, определенной по (98);

$W_{\text{раб.}}$ – принятое к установке число витков рабочей обмотки БНТ реле, присоединенной к тем же трансформаторам тока, что и тормозная обмотка. Правила выбора $W_{\text{раб.}}$ те же, что и $W_{\text{расч.}}$ в формуле (111);

$I_{\text{торм.}}$ – первичный тормозной ток при расчетном внешнем КЗ. Для схемы на рис. 15 – это КЗ в начале линии 1 или линии 2, когда по первичным обмоткам трансформаторов тока ТА1 и ТА2 протекает сквозной ток повреждения. Торможение должно обеспечиваться при меньшем из этих токов;

k_n – коэффициент отстройки, учитывающий ошибку реле и необходимый запас; может быть принят равным 1,5;

$\text{tg} \beta$ – тангенс угла β наклона касательной, проведенной из начала координат к тормозной характеристике, к оси абсцисс. Исходя из заводской характеристики, можно принимать $\text{tg} \beta \approx 0,75$, не выполняя графических построений.

Полученное $W_{\text{торм.расч.}}$ округляется до ближайшего большего целого числа витков, которое можно установить на реле.

Чувствительность защиты оценивается при металлическом КЗ между двумя фазами и при однофазном КЗ на ошиновке в режиме опробования автотрансформатора. Для случая, изображенного на рис. 15 – при подаче питания на АТ выключателем Q3 при отключенных Q1 и Q2. Коэффициент чувствительности определяется по (105), поскольку в рассматриваемом случае торможение отсутствует. В соответствии с ПУЭ в этом режиме в обоих случаях должно выполняться условие $k_q \geq 1,5$.

5.3. Резервные защиты трансформаторов.

Алгоритм расчета защит аналогичен защитами линий, поэтому в методи-

ческих указаниях не приводится. Частично расчет этих защит будет затронут в разделе, касающемся курсовой работы. При проработке этой темы необходимо уяснить, в чем расчет уставок и проверка чувствительности максимальной токовой защиты трансформаторов отличается от аналогичного расчета для линий. Особенности выполнения МТЗ на многообмоточном трансформаторе: места установки, согласование по току и по времени срабатывания.

Защита трансформатора от симметричной перегрузки: назначение, режимы, в которых требуется работа защиты, расчет уставок, особенности исполнения на многообмоточном трансформаторе.

Защита трансформатора от замыканий на землю в обмотках: область применения, способ исполнения, место установки, расчет уставки срабатывания.

Тепловой контроль обмоток трансформатора: место установки и уставки измерительных органов, особенности использования на трансформаторах с принудительным воздушным охлаждением масла.

5.4. Особенности защит трансформаторов, работающих в блоке с линией без выключателя на стороне высшего напряжения.

Применение блока «короткозамыкатель-отделитель» на стороне ВН трансформаторов на подстанциях с упрощенной схемой. Алгоритм действия защиты и автоматики при повреждениях трансформатора.

Контрольные вопросы к теме 5

- 1. Защиты от каких видов повреждений и ненормальных режимов следует предусматривать на силовых трансформаторах?*
- 2. Каковы причины возникновения токов небаланса в дифференциальной защите трансформатора?*
- 3. Как выполняются защиты от внешних КЗ и перегрузок на понижающих и повышающих трансформаторах?*
- 4. Как осуществляется отстройка от броска тока намагничивания в дифференциальной защите трансформатора?*
- 5. Назначение реле с торможением.*
- 6. Принцип магнитного торможения в реле ДЗТ.*
- 7. Принцип работы газовой защиты.*
- 8. Особенности выполнения защит на автотрансформаторах.*
- 9. Как выбирается ток срабатывания дифференциальных защит при использовании реле РНТ и реле с торможением типа ДЗТ?*
- 10. В каких случаях применяется дифференциальная защита ошиновки трансформатора?*

6. Защита синхронных генераторов.

Необходимо проработать следующие вопросы:

Ненормальные режимы и виды повреждений синхронных генераторов, их характеристики.

Защита генераторов от междуфазных замыканий в обмотке статора и на выводах: виды защит, область их применения. Особенности расчета дифференциальной защиты статора генератора, ток небаланса.

Защита генераторов от витковых замыканий: принцип действия и область применения поперечной дифференциальной защиты.

Защита генераторов от замыканий обмотки статора на корпус (на землю): виды защиты и область их применения.

Защита генератора от сверхтоков при внешних симметричных замыканиях и перегрузках: способ исполнения, выбор уставок срабатывания, согласование с защитами блочного трансформатора.

Защита генераторов от несимметричных перегрузок: способ исполнения, структура реле РТФ-6М, РТФ-7, РТФ-9; назначение и время срабатывания отдельных ступеней защиты.

Защита цепей возбуждения генератора от замыкания на землю в одной и в двух точках.

Особенности защиты гидрогенераторов от повышения напряжения и потери возбуждения в соответствии с ПУЭ.

Защита блоков «генератор-трансформатор» – особенности выполнения и аналогии по сравнению с защитами генераторов, работающих на сборные шины.

Продольная дифференциальная защита статора синхронного генератора, выполненная с помощью дифференциальных реле с магнитным торможением.

Эта защита сочетает два принципа отстройки от тока небаланса: торможение, при котором ток срабатывания защиты автоматически увеличивается с ростом тока внешнего КЗ, и использование БНТ. В результате защита надежно отстраивается от тока небаланса как в установившемся, так и в переходном режиме и обладает высокой чувствительностью при КЗ в генераторе. Тормозная обмотка подключается к трансформаторам тока, установленным со стороны линейных выводов генератора, а рабочая – в дифференциальную цепь. Схема включения обмоток реле и тормозная характеристика показаны на рис. 16.

Ток срабатывания защиты

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{нб.макс.}, \quad (120)$$

где k_n – коэффициент надежности, равный 1,3-1,5;

$I_{нб.макс.}$ – максимальный ток небаланса:

$$I_{нб.макс.} = k_{одн.} \cdot \varepsilon \cdot I_{расч.}^{(3)}; \quad (121)$$

здесь $k_{одн.}$ – коэффициент, учитывающий однотипность трансформаторов тока, принимается равным 0,5;

ε – полная погрешность трансформаторов тока, принимается равной 0,1 (10%);

$I_{расч.}^{(3)}$ – ток от генератора при трехфазном коротком замыкании вне зоны действия защиты – в точке $K1$.
Ток срабатывания реле

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}}{n_{ТА}} \quad (122)$$

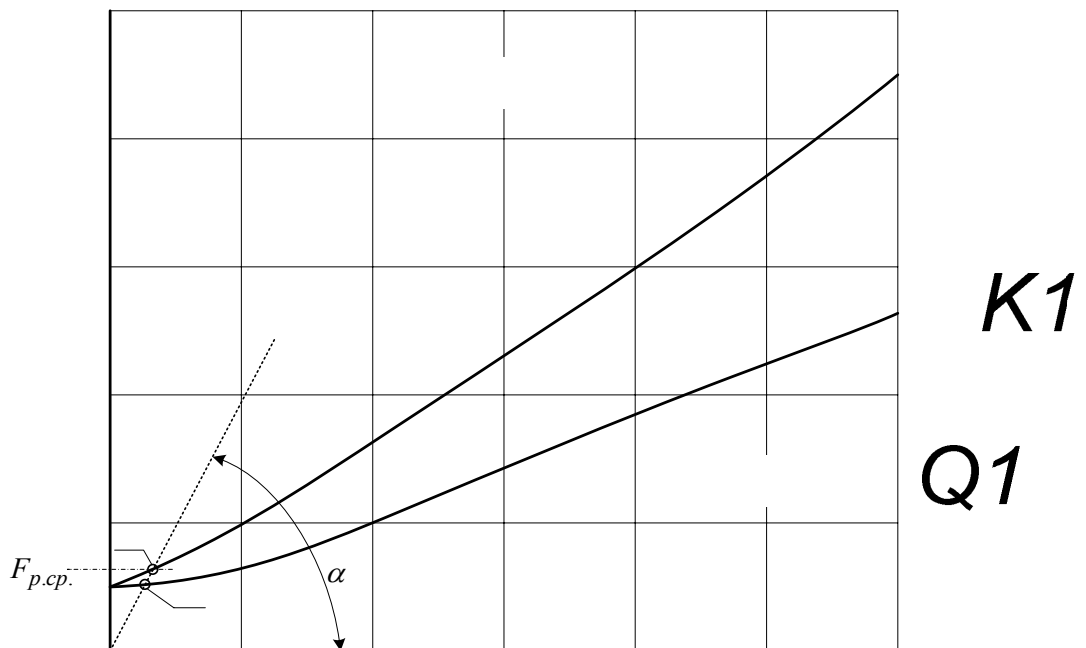
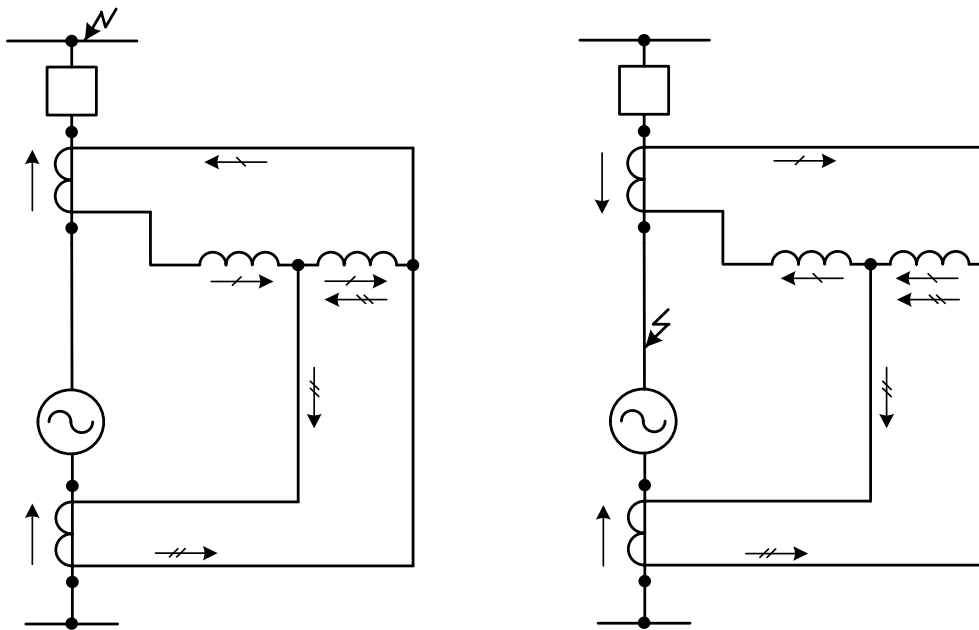


Рис. 16. Дифференциальная защита генератора с торможением:

(3)
 $TA2$
 $K3$

a – внешнее КЗ; b – КЗ в зоне действия защиты;
 c – тормозная характеристика реле ДЗТ-11/5.

Расчетная намагничивающая сила рабочей обмотки

$$F_{\text{раб.расч.}} = I_{\text{с.р.}} \cdot W_{\text{раб.}}, \quad (123)$$

где $W_{\text{раб.}}$ – число витков рабочей обмотки реле. Для реле ДЗТ 11/5 $W_{\text{раб.}} = 144$ витка.

Тормозная намагничивающая сила

$$F_{\text{торм.}} = k_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{F_{\text{раб.расч.}}}{100}\right)^2 - 1}, \quad (124)$$

где k_1 – коэффициент, принимаемый для реле ДЗТ 11/5 равным 135,8.

Тормозной ток

$$I_{\text{торм.}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(3)}}{n_{\text{ТА}}}, \quad (125)$$

где $I_{\text{КЗ}}^{(3)}$ – максимальный ток, протекающий через тормозную обмотку при внешнем коротком замыкании (в точке $K1$).

Число витков тормозной обмотки

$$W_{\text{торм.расч.}} = \frac{F_{\text{торм.}}}{I_{\text{торм.}}}. \quad (126)$$

Полученное значение $W_{\text{торм.расч.}}$ округляется до ближайшего большего целого числа витков, которое можно установить на реле – $W_{\text{торм.уст.}}$.

Чувствительность защиты при наличии торможения, т.е. при работе генератора параллельно с энергосистемой:

$$k_{\text{ч}} = \frac{F_{\text{р.}\Sigma}}{F_{\text{р.ср.}}}, \quad (127)$$

где $F_{\text{р.}\Sigma}$ – рабочая намагничивающая сила реле, определяемая по минимальному току двухфазного к.з. в зоне действия защиты, равному сумме токов, поступающих от системы – $I_{\text{КЗсист.}}^{(2)}$ и от генератора – $I_{\text{КЗген.}}^{(2)}$ (рис. 16 б):

$$F_{p.\Sigma} = \frac{(I_{K3сист.}^{(2)} + I_{K3ген.}^{(2)}) \cdot w_{раб.}}{n_{ТА}}, \quad (128)$$

$F_{p.ср.}$ – рабочая намагничивающая сила срабатывания реле, определяемая по тормозным характеристикам реле ДЗТ-11/5 (рис. 16в) следующим образом. Из начала координат проводится прямая OM под углом к оси абсцисс:

$$\alpha = \arctg \frac{F_{p.\Sigma}}{F_{торм.КЗ}}, \quad (129)$$

где $F_{торм.КЗ} = (I_{K3сист.}^{(2)} \cdot w_{торм.уст.} / n_{ТА})$. Точка $A1$ пересечения прямой OM с характеристикой срабатывания I реле, соответствующей максимальному торможению, будет являться точкой, где защита находится на грани срабатывания при КЗ через переходное сопротивление. Этой точке и соответствует рабочая намагничивающая сила срабатывания реле $F_{p.ср.}$.

Чувствительность защиты при отсутствии торможения (генератор работает автономно):

$$k_{ч} = \frac{I_{K3ген.}^{(2)} \cdot w_{раб.}}{100 \cdot n_{ТА}}, \quad (130)$$

где $I_{K3ген.}^{(2)}$ – ток двухфазного короткого замыкания на выводах генератора при отсутствии подпитки точки КЗ от системы.

Коэффициент чувствительности в обоих случаях должен быть не менее 2.

Поперечная дифференциальная защита генераторов.

Поперечная дифференциальная защита устанавливается на генераторах с параллельными ветвями обмоток в фазе.

На турбогенераторах мощностью 150 МВт и более защита выполняется без выдержки времени. На турбогенераторах мощностью менее 150 МВт защита выполняется с возможностью ввода выдержки времени при появлении первого замыкания на землю в цепи возбуждения и наличии защиты от второго замыкания.

На гидрогенераторах защита выполняется без выдержки времени.

В качестве органа, реагирующего на повышение тока в контролируемой цепи и отстроенного от высших гармоник, применяется реле тока РТ-40Ф, основные параметры которого приведены в табл. 3.

Таблица 3

Технические данные реле РТ-40Ф

Диапазон уставок	Зажимы реле	Пределы изменения уставок, А	Число витков	Мощность, потребляемая при токе первой уставки, ВА
I	4 - 8	1,75 – 3,5	25	0,5
II	6 - 8	2,9 – 5,8	15	0,5
III	4 - 6	4,4 – 8,8	10	0,5
IV	2 - 4	8,8 – 17,6	5	1,0

Ток срабатывания защиты

$$I_{с.з.} = (0,2 - 0,3) \cdot I_{ном.ген.} \quad (131)$$

Коэффициент трансформации трансформаторов тока:

$$n_{ТА} = \frac{600}{5} \div \frac{1500}{5} \quad (132)$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}}{n_{ТА}} \quad (133)$$

По полученному значению тока срабатывания выбираются уставки реле РТ-40Ф. Если полученные значения тока срабатывания не соответствуют диапазону уставок реле, необходимо изменить коэффициент трансформации трансформатора тока.

Выдержка времени

$$t_{с.з.} = 0,5с \quad (134)$$

Защита от замыканий на землю в обмотке статора генератора.

Защита устанавливается на генераторах, работающих непосредственно на сборные шины генераторного напряжения при естественном емкостном токе замыкания на землю сети генераторного напряжения 5 А и более.

Ток срабатывания первой ступени защиты при наличии блокирующих реле

$$I_{с.з.1} = \frac{k'_н \cdot I_C + k''_н \cdot I_{нб.бл.перв.}}{k_в} \quad (135)$$

где $k_в$ – коэффициент возврата, принимаемый для реле РТЗ-50 равным 0,9 ;

$k'_н$ – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока в установившемся режиме работы. При наличии выдержки времени 0,5-1с коэффици-

ент k'_H принимается равным 2-3;

k''_H – коэффициент надежности, равный 1,3 - 1,5;

$I_{нб.бл.перв.}$ – первичный установившийся ток небаланса, соответствующий току срабатывания блокирующих реле;

I_C – емкостной ток генератора, принимаемый по данным каталогов на соответствующие генераторы. В случае отсутствия информации емкостной ток генератора (в амперах) может быть определен по формуле

$$I_C = \sqrt{3} \cdot \omega \cdot C_2 \cdot U_H, \quad \text{А}, \quad (136)$$

где ω – угловая частота;

U_H – номинальное линейное напряжение, В;

C_2 – емкость одной фазы обмотки статора по отношению к земле. Для турбогенераторов

$$C_2 = \frac{k_1 \cdot S}{1,2 \cdot \sqrt{U_H \cdot (1 + 0,08U_H)}}, \quad \text{мкФ/фазу}, \quad (137)$$

для гидрогенераторов

$$C_2 = \frac{k_2 \cdot S^{3/4}}{3 \cdot (U_H + 3600) \cdot n^{1/3}}, \quad \text{мкФ/фазу}, \quad (138)$$

где S – мощность генератора, кВА;

k_1 – коэффициент, зависящий от класса изоляции и при температуре 15-20°C принимаемый равным 0,0187;

k_2 – коэффициент, принимаемый для изоляции класса Б при температуре 25°C равным 40;

n – скорость вращения ротора генератора, об/мин.

При расчетах емкостного тока I_C по формуле (136) емкость фазы C_2 подставляется в фарадах, а напряжение U_H – в вольтах.

Ток срабатывания первой ступени защиты при отсутствии блокирующих реле

$$I_{с.з.1} = \frac{k'_H \cdot I_C + k''_H \cdot I_{нб.КЗ.перв.}}{k_6}, \quad (139)$$

где $I_{нб.КЗ.перв.}$ – первичный установившийся ток небаланса в режиме внешнего двухфазного короткого замыкания,

Вторичный ток небаланса

$$I_{нб.втор.} = I_{нб.нес.} + I_{нб.подм.}, \quad (140)$$

где $I_{нб.нес.}$ – составляющая вторичного тока небаланса, обусловленная несимметричным расположением фаз первичных токопроводов относительно магнитопровода трансформатора тока нулевой последовательности (ТНП). Эта составляющая определяется по формуле

$$I_{нб.нес.} = \frac{k \cdot E_{нб.нес(ном.)}}{z_{э.нам.втор.} + z_p}, \quad (141)$$

где $E_{нб.нес(ном.)}$ – эдс небаланса, наводимая во вторичной обмотке ТНП в номинальном режиме и обусловленная несимметричным расположением фаз первичных токопроводов относительно магнитопровода ТНП (относительно вторичной обмотки); эта эдс определяется по табл. 5;

$z_{э.нам.втор.}$ – эквивалентное сопротивление намагничивания, приведенное ко вторичной цепи (табл. 5);

z_p – сопротивление реле (табл. 5);

k – коэффициент кратности тока срабатывания блокирующего реле, определяемый по формуле

$$k = \frac{I_{бл.перв.}}{I_{ТНПном.}}, \quad (142)$$

где $I_{бл.перв.}$ – ток срабатывания блокирующего реле, определяемый по формуле:

$$I_{бл.перв.} = \frac{k_n \cdot I_{ном.з.}}{k_\beta} = 1,5 \cdot I_{ном.з.} \quad (143)$$

Если блокировка защиты осуществляется от блокирующего реле, подключенного к специальной обмотке трансформатора тока нулевой последовательности, то коэффициент k определяется по формуле

$$k = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{бл.перв.}}{I_{ТНПном.}}. \quad (144)$$

При отсутствии блокирующих реле коэффициент k в формуле (141) все же присутствует и определяется по формуле

$$k = \frac{I_{КЗ}}{I_{ТНПном.}}, \quad (145)$$

где $I_{КЗ}$ – ток короткого замыкания в момент времени, соответствующий выдержке времени защиты.

Вторая составляющая тока небаланса в формуле (140) – $I_{нб.подм.}$ – обусловлена неидентичностью двух сердечников трансформатора тока нулевой последовательности, используемого для защиты. Эта составляющая определяется по формуле

$$I_{нб.подм.} = \frac{E_{нб.подм.}}{z_p}, \quad (146)$$

где $E_{нб.подм.}$ – эдс небаланса, наводимая во вторичной обмотке ТНП и обусловленная неидентичностью магнитопроводов трансформатора тока; определяется по табл. 4.

Суммарный вторичный ток небаланса определяется для двух режимов: при наличии подмагничивания

$$I_{нб.втор.} = \frac{k \cdot E_{нб.нес(ном.)}}{z_{э.нам.втор.} + z_p} + \frac{E_{нб.подм.}}{z_p}, \quad (147)$$

без подмагничивания

$$I_{нб.втор.} = \frac{k \cdot E_{нб.нес(ном.)}}{z_p}, \quad (148)$$

За расчетное значение $I_{нб.втор.}$ принимается большее из полученных значений, которое приводится к первичной стороне по формуле

$$I_{нб.бл.перв.} = I_{нб.втор.} \cdot 2 \cdot w_v. \quad (149)$$

Полученное значение первичного тока небаланса подставляется в формулу (135) или (139).

Если значение тока срабатывания окажется больше 5 А, то принимается меньший диапазон токов срабатывания у реле РТЗ-50 и расчет повторяется, но переход к первичному току будет осуществляться по формуле

$$I_{нб.бл.перв.} = \frac{I_{нб.втор.} \cdot w_v}{1 + \frac{z_p}{z_{э.нам.втор.}}}. \quad (150)$$

Выдержка времени первой ступени защиты

$$t_1 = 0,5 - 1 \text{ с}, \quad (151)$$

Таблица 4

**Основные параметры трансформаторов тока и реле, используемые в расчетах
защиты генераторов от замыкания на землю**

Тип тр-ра тока	$U_{ном},$ кВ	$I_{ном},$ кА	$Z_{э.нам.втор.},$ Ом	$E_{нб.подм.},$ мВ	$E_{нб.нес(ном.)},$ мВ	$w_{в},$ ВИТКОВ	Тип реле	$I_{с.р.в.},$ А	$Z_{р.},$ Ом
ТНПШ-1	6,3 10,5 15,75	1,75	10	100	60	39	РТЗ-50	0,01 0,015 0,03	120 53,33 13
ТНПШ-2	6,3 10,5 15,75	3,0	10	100	85	39			
ТНПШ-3	6,3 10,5 15,75	4,5	10	100	100	39			
ТНПШ-3У	6,3 10,5	7,2	10	100	150	39			
ТНП-2			10	150	17	20			
ТНП-4			10	150	17	20			
ТНП-7			10	150	14	27			
ТНП-12			10	150	14	27			
ТНП-16			10	150	14	27			

Ток срабатывания второй ступени

$$I_{с.з.1} = k'_n \cdot I_C + k''_n \cdot I_{нб.КЗ.внеш.}, \quad (152)$$

где $I_{нб.КЗ.внеш.}$ – ток небаланса при внешнем коротком замыкании в сети в наиболее тяжелом расчетном режиме.

На основе опыта эксплуатации ток срабатывания второй ступени принимается равным 100 А.

Защита от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения блоков генератор-трансформатор.

Защита выполняется на реле напряжения, подключаемом ко вторичной обмотке трансформатора напряжения, соединенной по схеме «разомкнутый треугольник». Расчет уставок аналогичен приведенному выше для устройства контроля изоляции – см. (8) – (12).

Контрольные вопросы к теме 6

- 1. От каких повреждений и ненормальных режимов предусматриваются защиты на генераторе?*
- 2. Как выполняется защита генератора от витковых замыканий?*
- 3. Почему при действии защит от внутренних повреждений в генераторе, помимо отключения выключателя, следует подавать импульс на АГП?*
- 4. Как выполняется защита от замыканий на землю генератора, работающего на сборные шины, при использовании устройства ТНПШ?*
- 5. Чем опасны токи обратной последовательности для мощных генераторов?*
- 6. Назначение и способы выполнения защит обратной последовательности на генераторах.*
- 7. Какие защиты предусмотрены на генераторе от внешних КЗ и перегрузок?*
- 8. Какие защиты устанавливаются в цепи ротора генератора?*
- 9. Особенности выполнения защит блока генератор - трансформатор.*
- 10. Как выполняются защиты от замыканий на землю генератора, работающего в блоке с трансформатором?*

7. Защита шин станций и подстанций.

Режим работы секционных и шиносоединительных выключателей на распределительных устройствах разных уровней напряжения. Назначение защиты на этих выключателях. Требования к работе защит при повреждениях на сборных шинах. Способы защиты сборных шин. Принцип действия дифференциальной защиты шин (ДЗШ), требования к измерительным трансформаторам тока в схеме ДЗШ. Схемы ДЗШ для распредустройств с одной и двумя системами шин. Защита ошиновки для распредустройств с двумя выключателями на присоединение.

Особенности ДЗШ на генераторном напряжении.

8. Устройство резервирования отказов выключателей (УРОВ).

Способы дальнего и ближнего резервирования защит в электрической сети. Назначение устройств резервирования отказов выключателей (УРОВ), алгоритм действия. Виды исполнения схем УРОВ.

Контрольные вопросы к темам 7 и 8

1. Как выполняется защита сборных шин при фиксированном присоединении элементов?

2. Почему защита сборных шин 10-35 кВ выполняется в двухфазном исполнении, а защита шин 110 кВ и выше – в трехфазном?

3. В чем различие между ближним и дальним резервированием?

4. Какие реле применяются для контроля наличия неотключившегося КЗ?

5. Выполнение пусковых органов УРОВ.

9. Защита электродвигателей.

Необходимо проработать следующие вопросы.

Ненормальные режимы и повреждения асинхронных электродвигателей.

Защита электродвигателей от междуфазных замыканий в обмотке и на выводах: способы исполнения, область применения, расчет уставок.

Защита от замыканий на землю: способы исполнения, область применения, расчет уставок.

Режим самозапуска электродвигателей, групповая защита минимального напряжения: место установки, ступени защиты по ПУЭ.

Особенности защиты синхронных двигателей: асинхронный режим, повреждения в обмотке возбуждения.

Защита низковольтных электродвигателей: особенности режима; применение предохранителей и магнитных пускателей с тепловыми реле; защита с помощью автоматических выключателей.

Защита двигателей постоянного тока.

Токовая отсечка электродвигателей.

Ток срабатывания отсечки

$$I_{с.ТО} = k_n \cdot I_{пуск.}, \quad (153)$$

где k_n – коэффициент надежности, принимаемый для реле РТ 40 равным 1,8; для реле РТ-80 и РТМ – равным 2;

$I_{пуск.}$ – пусковой ток двигателя:

$$I_{пуск.} = k_n \cdot I_{ном.}, \quad (154)$$

где k_n – кратность пускового тока, принимаемая из справочников.

Ток срабатывания реле

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.ТО}}{n_{ТА}}. \quad (155)$$

Чувствительность защиты

$$k_{ч} = \frac{I_{к.мин.}^{(2)}}{I_{с.ТО}}, \quad (156)$$

где $I_{к.мин.}^{(2)}$ – ток двухфазного короткого замыкания на выводах электродвигателя.

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 2.

Продольная дифференциальная защита электродвигателей.

Продольная дифференциальная защита устанавливается на электродвигателях мощностью 5000 кВт и более, а также на электродвигателях меньшей мощности в случае, если токовые отсечки не удовлетворяют требованиям чувствительности.

Защита обычно выполняется в двухфазном исполнении.

На двигателях мощностью 5000 кВт и более, не имеющих мгновенных защит от замыканий на землю, продольная дифференциальная защита выполняется в трехфазном исполнении.

Ток срабатывания защиты

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{нб.макс.}, \quad (157)$$

где k_n – коэффициент надежности, равный 1,5 - 2,0;

$I_{нб.макс.}$ – максимальный ток небаланса, определяемый по известной формуле:

$$I_{нб.макс.} = k_a \cdot k_{одн.} \cdot \varepsilon \cdot I_{пуск.}, \quad (158)$$

где k_a , $k_{одн.}$, ε определяются аналогично (95);

$I_{пуск.}$ – максимальный пусковой ток двигателя:

$$I_{пуск.} = k_{пуск.} \cdot I_{ном.}, \quad (159)$$

где $k_{пуск.}$ – кратность пускового тока (приводится в справочниках);

$I_{ном.}$ – номинальный ток двигателя.

Ток срабатывания реле

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}}{n_{ТА}}. \quad (160)$$

Чувствительность защиты

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин.}}}{I_{\text{с.з.}}}, \quad (161)$$

где $I_{\text{к.мин.}}$ – ток двухфазного КЗ на выводах двигателя.

При выполнении защиты с использованием дифференциальных реле ток срабатывания защиты определяется по формуле

$$I_{\text{с.з.}} = (0,6 - 0,7) \cdot I_{\text{ном.}} \quad (162)$$

Число витков дифференциальной обмотки реле

$$w_{\text{д.расч.}} = \frac{F_{\text{с.р.}}}{(I_{\text{с.з.}}/n_{\text{ТА}})}, \quad (163)$$

где $F_{\text{с.р.}}$ – намагничивающая сила срабатывания реле, принимается равной 100 ампер-витков.

Контрольные вопросы к теме 9

1. Чем отличаются режимы пуска и самозапуска электродвигателей?
2. Почему защита минимального напряжения не может ограничиться применением только одного реле напряжения?
3. В чем особенность защиты синхронных электродвигателей?
4. Как производится выбор уставок защиты асинхронных двигателей от КЗ?

10. Автоматическое повторное включение

Устройства АПВ применяются на воздушных и смешанных (воздушно-кабельных) линиях напряжением 1000 В и выше; на шинах электростанции и подстанций, оборудованных специальной защитой; на понижающих трансформаторах мощностью более 1000 кВА, имеющих с питающей стороны максимальную токовую защиту, в тех случаях, когда отключение трансформатора приводит к обесточению потребителей; на обходных и шиносоединительных выключателях и на ответственных электродвигателях, отключаемых по условию самозапуска других двигателей.

Необходимо вникнуть в требования, предъявляемые к устройствам АПВ, и разобраться, как эти требования реализуются в конкретных схемах АПВ. Понять, в чем отличие исполнения трехфазного АПВ (ТАПВ) для линий с односторонним и двусторонним питанием: исполнение АПВ на концах линии, обеспечение синхронности включения. Принцип действия АПВ с контролем синхронизма. Однофазное АПВ (ОАПВ): назначение, область применения. Схемы АПВ. Выбор уставок срабатывания АПВ.

Однократное трехфазное АПВ линий с односторонним питанием
 Выдержка времени на срабатывание:

$$t_{АПВ-1} \geq t_{2.n.} + t_{зан.}, \quad (164)$$

$$t_{АПВ-1} \geq t_{д.с.} - t_{вкл.Q} + t_{зан.}, \quad (165)$$

$$t_{АПВ-1} \geq t_{гот.Q} - t_{вкл.Q} + t_{зан.}, \quad (166)$$

$$t_{АПВ-1} \geq t_{в.защ.} - t_{вкл.Q} + t_{зан.}, \quad (167)$$

где $t_{2.n.}$ – время готовности привода, равное 0,2-1,0 с, в зависимости от типа привода;

$t_{д.с.}$ – время деионизации среды в месте КЗ, равное 0,07 – 0,08с для линий напряжением до 35 кВ; 0,15с – для линий напряжением 110 кВ; 0,3с – для линий напряжением 220 кВ и 0,35 – 0,40с – для линий напряжением 330-500 кВ;

$t_{вкл.Q}$ – время включения выключателя;

$t_{гот.Q}$ – время готовности выключателя;

$t_{в.защ.}$ – время возврата релейной защиты, установленной со стороны источника питания;

$t_{зан.} = 0,4 \div 0,5$ с – время запаса.

Выдержка времени на возврат

$$t_{АПВ-2} \geq t_{АПВ-1} + t_{вкл.Q} + t_{PЗмакс.} + t_{откл.Q} + t_{зан.}, \quad (168)$$

$$t_{АПВ-2} \geq t_{наузыл}, \quad (169)$$

где $t_{PЗмакс.}$ – максимальная выдержка времени релейной защиты после включения выключателя на устойчивое КЗ;

$t_{откл.Q}$ – время отключения выключателя;

$t_{наузыл}$ – время, допустимое по условиям работы выключателей, принимаемое равным 10 – 15 с.

В реле РПВ-58 и РПВ-358 время возврата реле обеспечивается временем заряда конденсатора:

$$t_{зар.} = R \cdot C \cdot \ln \frac{U_{пит.}}{U_{пит.} - U_{сраб.KL}}, \quad (170)$$

где R – сопротивление зарядного резистора, Ом;

C – емкость конденсатора, Ф;

$U_{пит.}$ – напряжение питания, принимаемое равным $1,05U_{ном.}$, В;

$U_{сраб.KL}$ – напряжение срабатывания промежуточного реле устройства

РПВ, В.

Если $t_{зар.} \geq t_{АПВ-2}$, однократность действия АПВ обеспечена.

Двукратное АПВ линий с односторонним питанием

Двукратное АПВ применяется на одиночных воздушных линиях напряжением 35 кВ и выше в случаях, когда эти линии отходят от подстанции без обслуживающего персонала или без телеуправления.

Выдержки времени на срабатывание и возврат в первом цикле $-t'_{АПВ-1}$ и $t'_{АПВ-2}$ – определяются аналогично однократному АПВ по формулам (164) – (169).

Выдержка времени на срабатывание во втором цикле

$$t''_{АПВ-1} \geq t_{наузы1}, \quad (171)$$

Выдержка времени на возврат во втором цикле

$$t''_{АПВ-2} \geq t''_{АПВ-1} + t_{вкл.Q} + t_{P3max.} + t_{откл.Q} + t_{зан.}, \quad (172)$$

$$t''_{АПВ-2} \geq t_{наузы2}, \quad (173)$$

где $t_{наузы2}$ – время, допустимое по условиям работы выключателей, принимается равным 20 – 60 с.

АПВ линий с двусторонним питанием

При повреждении линию необходимо отключить с обеих сторон, что необходимо для деионизации воздушного промежутка в месте КЗ. Действие устройств АПВ на выключатели должно быть согласованным и осуществляться только однократно.

Выдержка времени на срабатывание:

$$t_{АПВ-1} \geq t_{2.n.} + t_{зан.}, \quad (174)$$

$$t_{АПВ-1} \geq t_{д.с.} - t_{вкл.Q} + t_{зан.}, \quad (175)$$

$$t_{АПВ-1} \geq t_{защ.2max.} - t_{защ.1min.} + t_{откл.Q2} - t_{откл.Q1} - t_{вкл.Qi} + t_{д.с.} + t_{зан.}, \quad (176)$$

где $t_{защ.2max.}$ и $t_{защ.1min.}$ – максимальная и минимальная выдержки времени защит на обоих концах защищаемой линии;

$t_{откл.Q2}$ и $t_{откл.Q1}$ – время отключения выключателей с обеих сторон линии;

$t_{вкл.Qi}$ – время включения выключателя с расчетной стороны линии.

Выдержка времени на возврат определяется по формулам (168) и (169).

Для того чтобы порядок подачи команд от устройств АПВ на выключатели можно было изменять по мере необходимости, дополнительно устанавливаются устройства контроля отсутствия напряжения на линии – *КОН*, и контроля наличия напряжения – *КНН* – рис. 17.

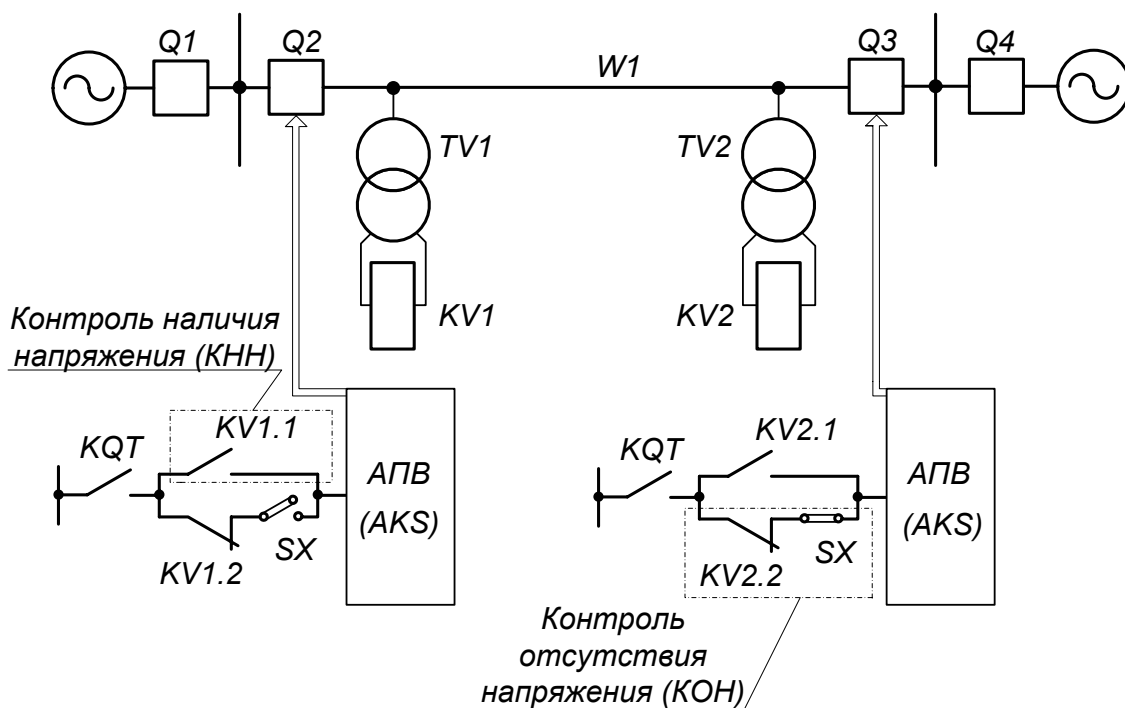


Рис. 17 – АПВ на линии с двусторонним питанием, в комплекты которого введены устройства контроля напряжения

Благодаря этому включение от АПВ на устойчивое КЗ происходит только один раз – с той стороны, где контролируется отсутствие напряжения. Включение выключателя с другой стороны будет происходить лишь в том случае, если повреждение устранено и линия держит напряжение. Изменяя положение накладок *SX*, функции *КОН* и *КНН* можно менять местами.

Смотря по обстоятельствам, могут применяться следующие виды трехфазного АПВ: несинхронное – НАПВ, быстродействующее – БАПВ, с ожиданием (контролем) синхронизма – АПВОС, с улавливанием синхронизма – АПВУС и с самосинхронизацией – АПВС.

Контрольные вопросы к теме 10

1. На каких элементах электрической системы допускается автоматическое повторное включение?
2. Что такое «самоустраняющееся повреждение»?
3. Назовите особенности устройств АПВ линий с двусторонним питанием.
4. В каких случаях на линиях с двусторонним питанием допускается применение устройств АПВ тех же типов, что и для линий с односторонним питанием и почему?
5. Назовите преимущества и недостатки, а также области применения

различных типов устройств АПВ линий с двусторонним питанием.

6. В чем состоят преимущества ОАПВ по сравнению с ТАПВ?

11. Автоматическое включение резерва

Назначение АВР – быстрое восстановление электроснабжения потребителей при отключении рабочего источника питания или находящегося в работе оборудования путем автоматического включения резервного источника питания или резервного оборудования – рис. 18. Необходимо разобраться с требованиями, предъявляемыми к схемам АВР, контролируемым величинами, и собственно схемами АВР для различных случаев применения этого вида автоматики. Выбор уставок срабатывания приведен ниже.

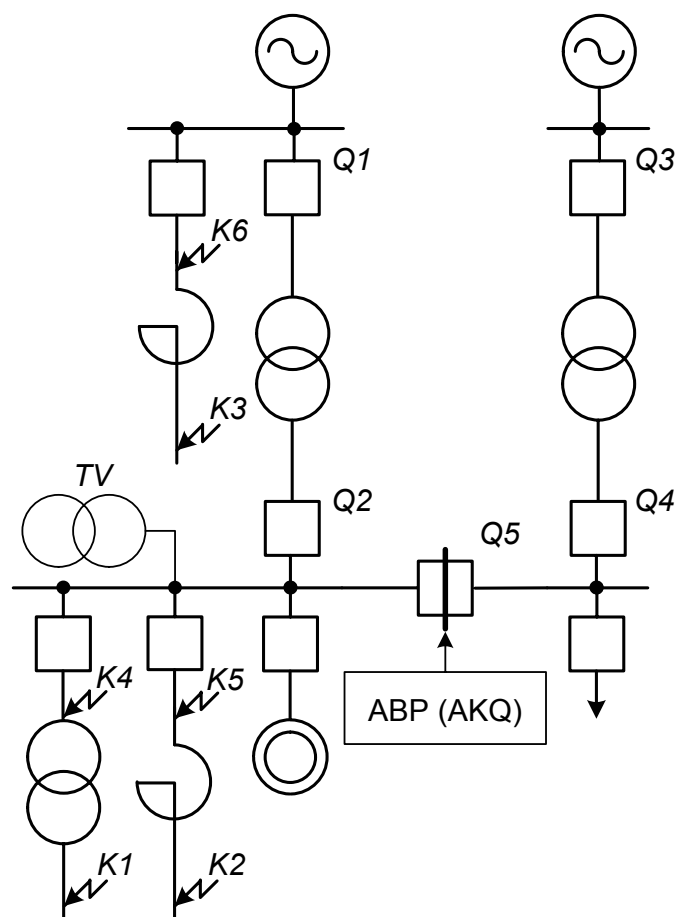


Рис. 18 – Пример применения АВР

Пусковые органы минимального напряжения должны срабатывать только при полном исчезновении напряжения и не должны приходить в действие при понижении напряжения, вызванном удаленными КЗ или самозапуском двигателей. Например, на рис. 18: пусковые органы могут работать при отключении выключателей Q1 или Q2, либо при КЗ в точках K4, K5 или K6. Если же повреждение – в точках K1, K2 или K3, устройство АВР не должно запускаться.

Для выполнения этого требования напряжение срабатывания реле минимального напряжения выбирается по следующим условиям:

$$U_{c.p.1} \leq \frac{U_{ост.КЗ}}{k_n \cdot k_B \cdot n_{TV}}, \quad (177)$$

$$U_{c.p.1} \leq \frac{U_{c/зан.}}{k_n \cdot k_B \cdot n_{TV}}, \quad (178)$$

где $U_{ост.КЗ}$ – наименьшее остаточное напряжение при трехфазном КЗ за реакторами ($K2$, $K3$) и за трансформатором ($K1$);

$U_{c/зан.}$ – наименьшее напряжение при самозапуске двигателей после отключения коротких замыканий ;

$k_n = 1, 2 \div 1, 3$ – коэффициент надежности;

k_B – коэффициент возврата реле, определяемый из справочников.

За расчетное значение напряжения срабатывания реле принимается меньшее. В практических расчетах обычно условия (177) и (178) выполняются при

$$U_{c.p.1} = (0,25 - 0,4) \cdot U_{ном.}, \quad (179)$$

Выдержка времени пускового органа должна быть на ступень селективности больше выдержек времени защит, повреждение в зоне действия которых может привести к пуску АВР. Такими зонами являются участки до реакторов (точки $K5$, $K6$) и до трансформатора (точка $K4$) на рис. 18. Следовательно

$$t_{1AKQ} = t'_{p.z.макс} + \Delta t, \quad (180)$$

$$t_{1AKQ} = t''_{p.z.макс} + \Delta t, \quad (181)$$

где $t'_{p.z.макс}$ – максимальная выдержка времени защит присоединений, отходящих от шин высшего напряжения;

$t''_{p.z.макс}$ – максимальная выдержка времени защит присоединений, отходящих от шин низшего напряжения;

Δt – ступень селективности, определяемая по (22).

Более надежным вариантом пускового органа АВР является использование минимального реле напряжения и минимального реле тока, контакты которых включены последовательно. Ток срабатывания пускового органа минимального тока

$$I_{c.p.1} \leq \frac{I_{мин.нагр.}}{k_n'' \cdot n_{ТА}}, \quad (182)$$

где $I_{мин.нагр.}$ – минимальный ток нагрузки трансформатора;

$k_n'' = 1,5$ – коэффициент надежности.

Выдержка времени пускового органа минимального напряжения и тока

$$t_{1AKQ} = t'_{p.z.макс} + \Delta t . \quad (183)$$

АВР теряет смысл, если отсутствует напряжение на резервном источнике. Уставка реле контроля напряжения на резервном источнике питания:

$$U_{c.p.2} \geq \frac{U_{мин.раб.}}{k'_н \cdot k_v \cdot n_{TV}} , \quad (184)$$

где $U_{мин.раб.}$ – минимальное рабочее напряжение;

$k'_н = 1,1 \div 1,2$ – коэффициент надежности;

Выдержка времени реле однократного включения (POB) должна с некоторым запасом превышать время включения выключателя резервного источника питания (на рис. 18 – Q5):

$$t_{POB} = t_{вкл.Q} + t_{зап.} , \quad (185)$$

где $t_{зап.} = 0,2 \div 0,3$ с – время запаса;

$t_{вкл.Q}$ – время включения резервного выключателя (определяется по справочникам).

Контрольные вопросы к теме 11

1. Почему включение резервного источника должно происходить только после отключения рабочего?

2. С какой целью применяются пусковые органы в устройствах АВР и в каких случаях не требуется их установка?

3. Сравните различные варианты выполнения пусковых органов.

4. В каких случаях осуществляется ускорение действия защиты после АВР и почему?

12 Автоматическая частотная разгрузка

При крупных авариях, связанных с отключением генераторов или с разделением энергосистемы на отдельные районы, дефицит активной мощности может достигать большой величины, что приводит к заметному понижению частоты и, как следствие, к снижению вращающего момента на валах электродвигателей. В первую очередь это отражается на работе собственных нужд электрических станций, особенно – тепловых. В таких условиях наиболее надежным и, что особенно важно, быстродействующим средством восстановления баланса активной мощности генераторов и потребителей является автоматическое отключение нагрузки, называемое автоматической частотной разгрузкой – АЧР.

Необходимо разобраться со следующими вопросами:

- требования ПУЭ и ПТЭ к устройствам АЧР;
- режим сети, предшествующий АЧР;
- принципы выполнения устройств АЧР;
- подразделение устройств АЧР на категории и очереди (ступени);
- выбор места установки устройств, схемы АЧР;
- Восстановление режима после АЧР, связь с АПВ.

Автоматическая частотная разгрузка первой категории (АЧР-I)

Быстродействующая категория разгрузки, предназначенная для предотвращения значительного снижения частоты. Выполняется в виде нескольких очередей (ступеней) разгрузки, имеющих различные уставки по частоте.

Аварийное снижение частоты в энергосистеме

$$f_{ав.} = f_{нач.} - \frac{P_{деф.} \cdot f_{нач.}}{P_{нагр.} \cdot k_{р.э.н.}}, \quad (186)$$

где $f_{нач.}$ – начальная частота в энергосистеме до аварии;

$P_{деф.}$ – максимально возможный дефицит мощности;

$P_{нагр.}$ – мощность нагрузки до аварии;

$k_{р.э.н.} = 1,5 \div 2,5$ – коэффициент регулирующего эффекта нагрузки;

Диапазон уставок срабатывания очередей (ступеней) разгрузки по частоте

$$f_{ср.I} = 48,5 \div 46,5 \text{ Гц.} \quad (187)$$

Степень селективности между очередями по частоте

$$\Delta f = 0,1 \text{ Гц.} \quad (188) \text{ Степень}$$

селективности по времени первых очередей АЧР-I

$$\Delta t = 0,25 \div 0,3 \text{ с.} \quad (189)$$

Мощность потребителей подключенных к АЧР-I (в относительных единицах):

$$P_{АЧР-I} = P_{деф.} + 0,05 - P_{рез.}, \quad (190)$$

где $P_{деф.}$ – максимально возможный дефицит мощности в системе;

$P_{рез.}$ – величина учитываемой части резерва мощности;

0,05 – пятипроцентный запас от нагрузки энергосистемы.

Автоматическая частотная разгрузка второй категории (АЧР-II)

Категория разгрузки, предназначенная для подъема частоты после действия устройств АЧР-I, а также для предотвращения «зависания» частоты на недопустимо низком уровне и снижения ее при сравнительно медленном увеличении дефицита активной мощности.

Диапазон уставок срабатывания по частоте

$$f_{ср. II} = 48,5 \div 48,8 \text{ Гц.} \quad (191)$$

Уставки срабатывания по времени

$$t_{мин. II} = 10 \div 15 \text{ с,} \quad (192)$$

$$t_{макс. II} = 60 \text{ с,} \quad (193)$$

а в условиях возможной мобилизации мощности на ГЭС

$$t_{макс. II} = 90 \text{ с,} \quad (194)$$

Степень селективности между очередями по времени

$$\Delta t = 3 \text{ с,} \quad (195)$$

Мощность потребителей, подключаемых к АЧР-II

$$P_{АЧР-II} = 0,4 \cdot P_{АЧР-I}. \quad (196)$$

Дополнительная категория АЧР

Дополнительная разгрузка по частоте применяется в том случае, если дефицит мощности превышает данные, приведенные в табл. 5, в результате чего частота на станции может снизиться до 45 Гц и ниже.

Таблица 5 – Предельно допустимый по условиям снижения частоты дефицит мощности $P_{деф.пред.}$

Постоянная инерции, T_u , с	$P_{деф.пред.}$, относительные единицы, при времени действия АЧР-I, $t_{АЧР-I}$, с		
	0,3	0,5	0,7
10 – 12	0,65 – 0,75	0,55 – 0,65	0,45 – 0,55
13 – 14	0,75 – 0,80	0,65 – 0,70	0,55 – 0,60
15 – 16	0,80 – 0,85	0,70 – 0,75	0,60 – 0,65

Постоянная инерции в практических расчетах определяется по формуле:

$$T_u = \frac{\Sigma(T_T + T_G) \cdot P_G + \Sigma(T_D + T_M) \cdot P_D}{P_{баз.}}, \quad (197)$$

где T_T , T_G , T_D , T_M – постоянные инерции турбин, генераторов, двигателей и механизмов, определяемые из каталогов на соответствующее оборудование или из справочников;

P_G , P_D – мощности генераторов и двигателей;

$P_{баз.}$ – базисная мощность нагрузки энергосистемы до аварии, принимае-

мая равной номинальной.

Мощность нагрузки, подключаемая к дополнительной категории АЧР

$$P_{АЧР-доп.} = k_n \cdot \left(P_{деф.} - P_{нагр.} \cdot \frac{P_{деф.пред.}}{100} \right), \quad (198)$$

где $k_n = 1,1$ – коэффициент надежности;

$P_{деф.пред.}$ – предельно допустимое по условиям снижения частоты, (ниже 45 Гц) значение дефицита мощности, определяемое по табл. 6. Если данных о постоянной инерции T_u нет, $P_{деф.пред.}$ можно принимать равным 0,45.

Частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ)

Частотное АПВ применяется:

- на подстанциях без постоянного дежурства персонала и не оборудованных телеуправлением присоединений, отключаемых от АЧР;
- в энергосистемах, где возможно снижение частоты при коротких замыканиях и срабатывание АЧР, имеющих выдержку времени до 0.5 с;
- в энергосистемах, имеющих резерв мощности на ГЭС, который обеспечивает восстановление частоты, но спустя время, достаточное для срабатывания устройств АЧР;

Уставки возврата реле частоты

$$f_g = 49,2 \div 50 \text{ Гц.} \quad (199)$$

Минимальная уставка по времени

$$t_{мин.} = 10 \div 20 \text{ с.} \quad (200)$$

Максимальная уставка по времени выбирается из конкретных условий работы энергосистемы и возможности ликвидации дефицита мощности за счет восстановления параллельной работы источников питания.

Степень селективности по времени

$$\Delta t = 5 \text{ с.} \quad (201)$$

Контрольные вопросы к теме 12

1. Сравните различные принципы выполнения устройств АЧР.
2. Назначение АЧР I и АЧР II, выбор уставок.
3. В каких случаях и почему предусматривается дополнительная разгрузка? Принципы выполнения дополнительной разгрузки.
4. Назначение ЧАПВ и выбор уставок.

13 Синхронизация генераторов

Условия синхронизации генераторов: контроль напряжения, частоты и скольжения. Самосинхронизация генераторов: область и условия применения.

Полуавтоматическая синхронизация: принцип действия, схемы с контролем угла опережения и времени опережения.

14 Автоматическое регулирование возбуждения на генераторах

Назначение автоматического регулирования напряжения, виды и область применения схем АРВ. Влияние АРВ на устойчивость работы генераторов и энергосистемы.

15 Автоматическое регулирование напряжения на трансформаторах

Назначение устройств автоматического регулирования коэффициента трансформации на силовых трансформаторах. Область применения, достоинства, недостатки. Алгоритм действия АРКТ.

Контрольные вопросы к темам 13, 14, 15

1. В каких условиях применяется самосинхронизация и точная синхронизация?

2. Какие моменты действуют в генераторе при самосинхронизации? Почему необходимо подавать ток возбуждения сразу после включения генератора в сеть?

3. Назовите преимущества и недостатки синхронизаторов с постоянным углом опережения и постоянным временем опережения.

4. По каким параметрам производится регулирование в различных типах АРВ?

5. Почему устройство токового компаундирования без корректора напряжения не обеспечивает постоянства напряжения на выводах генератора?

6. Каковы отличительные особенности регуляторов сильного действия?

7. Как обеспечить встречное регулирование напряжения на шинах станции?

8. С помощью каких устройств может регулироваться напряжение у потребителей?

2.1.7. Методические рекомендации по выполнению курсового проекта.

Изложены в учебном пособии:

Козлов А.Н., Ротачев Ю.А.

Релейная защита и автоматика: Учебно-методическое пособие для студентов заочного и ускоренного обучения. – 2-е изд., перераб. и доп. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006.

При выполнении курсового проекта можно также воспользоваться учебным пособием *Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В.* Релейная защита и автоматика электрических систем: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2007. – 158 с.

Оба учебных пособия есть в библиотеке энергетического факультета; кроме того, электронные варианты пособий включены в электронную библиотеку кафедры энергетике. Студенты могут записать их на свои носители.

2.1.8. Методические указания по выполнению лабораторных работ

Изложены в учебных пособиях:

Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1. Электромеханические реле защиты: Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. Ун-та, 2002. – 88 с.

Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 3. Электроавтоматика: Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. Ун-та, 2006. – 92 с.

Учебные пособия есть в библиотеке энергетического факультета; кроме того, электронные варианты пособий включены в электронную библиотеку кафедры энергетике. Студенты могут записать их на свои носители.

2.1.9. Методические указания к практическим занятиям

Изложены в учебном пособии *Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В.* Релейная защита и автоматика электрических систем: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2007. – 158 с.

Электронный вариант пособия включен в электронную библиотеку кафедры энергетике. Студенты могут записать его на свои носители.

2.1.10. Методические указания к выполнению контрольных работ

Выполнение контрольных работ по данной дисциплине запланировано для студентов заочной и заочной ускоренной форм обучения. Методические указания изложены в учебном пособии:

Козлов А.Н., Ротачев Ю.А.

Релейная защита и автоматика: Учебно-методическое пособие для студентов заочного и ускоренного обучения. – 2-е изд., перераб. и доп. – Благовещенск: Амурской гос. ун-т, 2006.

Электронный вариант пособия включен в электронную библиотеку кафедры энергетике. Студенты могут записать его на свои носители.

2.1.11. Перечень программных продуктов

При выполнении индивидуальных заданий по практическим занятиям, подготовке отчетов по лабораторным работам студентам рекомендуется пользоваться пакетами прикладных программ Microsoft Office Visio, Mathcad, Word, и др.

2.1.12. Методические указания по применению современных информационных технологий

Большое количество сложного иллюстративного материала – схем устройств автоматики, алгоритмов – требует применения мультимедийного оборудования. В настоящее время идет комплектация альбома вспомогательного материала и иллюстраций и перевод в электронную форму, поэтому в настоящем издании УМКД иллюстрации приведены частично.

2.1.13. Методические указания по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний

1. Входной контроль. Проводится лектором на одном из первых занятий. Цель – оценить степень освоения разделов предыдущих дисциплин, необходимых при изучении читаемого курса.

Форма контроля – тестовые задания, разрабатываемые лектором.

Оценка не выставляется, т.к. основное назначение входного контроля – выявление пробелов и «слабых мест» у большей части аудитории и внесение соответствующих корректив в планы проведения лекционных и практических занятий.

2. Межсессионный контроль (контрольные точки). Проводится по результатам выполнения и защиты лабораторных работ, либо по результатам практических занятий. Если учебным планом лабораторные и практические занятия не предусмотрены, контрольная точка проставляется лектором на основании решения студентами тестовых заданий промежуточного контроля.

Критерии оценки:

«отлично» - студент работает в соответствии с рабочим учебным планом; все задания выполнены и защищены;

«хорошо» - студент работает в соответствии с рабочим учебным планом; задания своевременно выполнены, но частично - не защищены;

«удовлетворительно» - работа студента – не в полном соответствии с рабочим учебным планом: задания выполнены, но защиты не было;

«неудовлетворительно» - работа студента – не в полном соответствии с рабочим учебным планом: большая часть заданий не выполнена (в том числе и из-за пропусков);

«не аттестован» - при очень большом количестве пропусков занятий и практически полном невыполнении рабочего учебного плана.

3. Экзаменационный контроль.

3.1. Курсовые проекты и работы.

Защищаются перед специальной комиссией, выделенной кафедрой, с участием непосредственного руководителя проекта (работы) и рецензента.

Критерии оценки:

«отлично» - проект (работа) выполнен грамотно, аккуратно, в соответствии с ГОСТ. Допущенные ошибки и неточности не влияют на основные выводы по проекту (работе). Студент свободно ориентируется в вопросах, затронутых в проекте (работе); при наличии графической части – умеет «прочитать» чертеж и дать необходимые пояснения;

«хорошо» - проект (работа) выполнен грамотно, аккуратно, в соответствии с ГОСТ. Допущенные ошибки и неточности не влияют на основные выводы по проекту (работе), но при защите студент допускает неточности в ответах на вопросы членов комиссии по пояснительной записке и графической части;

«удовлетворительно» - *проект* (работа) выполнен грамотно, аккуратно, в соответствии с ГОСТ. Допущенные ошибки и неточности не влияют на основные выводы по проекту (работе), но при защите выявляется, что студент испытывает заметные затруднения и допускает серьезные неточности в ответах на

вопросы членов комиссии по пояснительной записке и графической части;

либо проект (работа) выполнен с отступлениями от требований ГОСТ, с ошибками, отражающимися на основных выводах по проекту (работе), даже если на защите студент может объяснить, как следует исправлять допущенные ошибки;

«неудовлетворительно» - проект (работа) выполнен с грубыми ошибками, влияющими на основные выводы по проекту (работе), либо на защите студент не может объяснить, как следует исправлять допущенные ошибки, либо допускает грубые ошибки в ответах на вопросы членов комиссии по пояснительной записке и графической части. **В любом случае проект возвращается на доработку.**

3.2. Экзамены.

На экзамены выносятся материал дисциплины за семестр. При необходимости в билеты могут включаться основные вопросы, рассмотренные в предыдущем семестре. Перечень вопросов, включаемых в билеты, доводится до сведения студентов до начала подготовки к экзамену.

В билеты включаются не менее двух вопросов по лекционной части курса и в обязательном порядке – хотя бы один вопрос по практической части, или задача.

Критерии оценки:

«отлично» - выполнены все задания билета; студент свободно ориентируется в теоретических и практических вопросах и правильно отвечает на дополнительные вопросы;

«хорошо» - выполнены все задания билета, но студент допускает неточности в ответах на теоретические и практические вопросы, в т.ч. и на дополнительные;

«удовлетворительно» - выполнено практическое задание билета. Ответы на теоретическую часть билета – неполные, с ошибками, но на дополнительные вопросы ответы – в принципе верные;

«неудовлетворительно» - не выполнено практическое задание билета, либо при ответах на теоретическую часть билета и дополнительные вопросы допущены грубые ошибки и неточности, показывающие, что студент имеет серьезные пробелы в освоении дисциплины.

4. Контроль остаточных знаний. Проводится по тестовым заданиям, разработанным кафедрой. Критерии оценки разрабатываются под каждый блок тестов, но общие рекомендации - следующие:

«отлично» - правильные ответа даны на 75% вопросов теста и более;

«хорошо» - правильные ответа даны на 60-75% вопросов теста;

«удовлетворительно» - правильные ответа даны на 50-60% вопросов теста;

«неудовлетворительно» - правильные ответа даны менее чем на 50% вопросов теста.

2.1.14. Комплекты заданий для лабораторных и практических работ

Задания по лабораторным работам – в учебном пособии: *Козлов А.Н., Ротачева А.Г.* Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1. Электромеханические реле защиты: Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. Ун-та, 2002. – 88 с.

Содержание пособия:

Введение	3
<i>Лабораторная работа 1.</i> Комплектное переносное испытательное устройство	5
<i>Лабораторная работа 2.</i> Электромагнитные реле переменного тока и напряжения	14
<i>Лабораторная работа 3.</i> Индукционные реле тока	25
<i>Лабораторная работа 4.</i> Электромагнитные вспомогательные реле: времени, промежуточные, указательные	32
<i>Лабораторная работа 5.</i> Индукционное реле направления мощности	49
<i>Лабораторная работа 6.</i> Газовые реле	61
<i>Лабораторная работа 7.</i> Дифференциальное токовое реле с промежуточным быстронасыщающимся трансформатором	70
<i>Лабораторная работа 8.</i> Дифференциальное токовое реле с магнитным торможением	77

А также в учебном пособии: *Козлов А.Н., Ротачева А.Г.* **Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 3. Электроавтоматика:** Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006.

Содержание пособия:

Введение	3
<i>Лабораторная работа 1.</i> Автоматическое включение резервного источника питания (АВР)	4
<i>Лабораторная работа 2.</i> Полуавтоматическая синхронизация генераторов	24
<i>Лабораторная работа 3.</i> Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) и частотное АПВ	30
<i>Лабораторная работа 4.</i> Автоматическое повторное включение (АПВ)	35
<i>Лабораторная работа 5.</i> Делительная автоматика	56
<i>Лабораторная работа 6.</i> Устройство резервирования отказов выключателей (УРОВ)	64
Литература	81
<i>Приложение</i> Условные позиционные обозначения элементов вторичных цепей	82

Учебные пособия есть в библиотеке энергетического факультета; кроме того, электронные варианты пособий включены в электронную библиотеку кафедры энергетики. Студенты могут записать его на свои носители.

2.1.15. Фонды тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний по дисциплине

Тестовые задания для экспресс-опроса и для контроля остаточных знаний в настоящее время переводятся в электронную форму.

2.1.16. Комплекты экзаменационных билетов

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

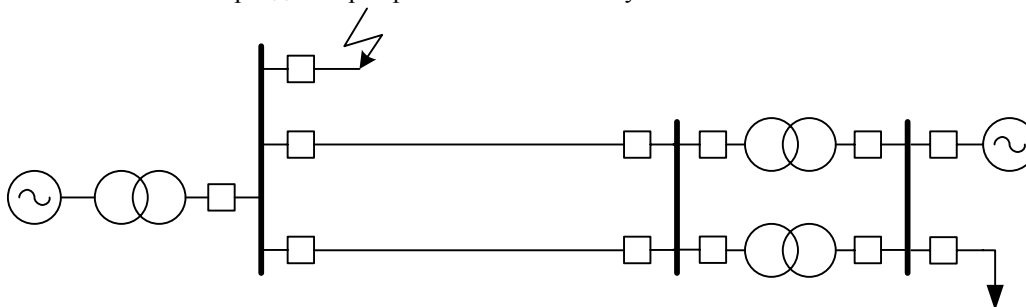
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра энергетики
Факультет энергетический
Курс четвертый, 140204, 140205, 140211
Дисциплина: Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

51. Особенности работы токовых защит в кольцевых сетях
52. Способы устранения вибрации электромагнитных реле, работающих на переменном токе
53. На линии 110 кВ, находящейся под охранным напряжением – см. рис. – произошло однофазное КЗ на начальном участке. Какие защиты зафиксируют это повреждение? Изменится ли что-либо, если после неуспешного АПВ КЗ перейдет в трехфазное? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

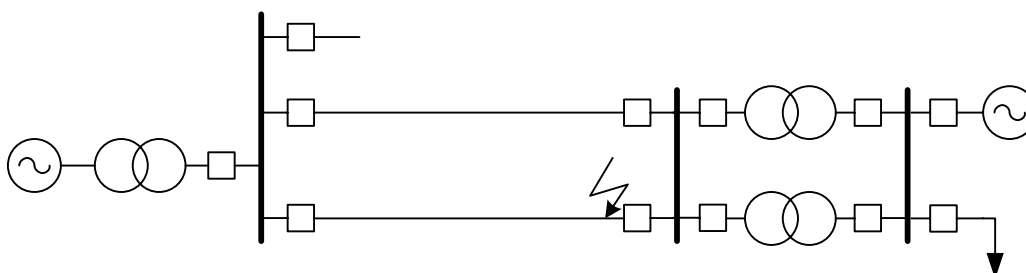
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра энергетики
Факультет энергетический
Курс четвертый, 140204, 140205, 140211
Дисциплина: Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. Способы повышения чувствительности продольной дифференциальной защиты
2. Дистанционные защиты: область применения. Принцип работы
3. В конце линии 220 кВ – см. рис. – произошло двухфазное КЗ. Какие защиты должны сработать в штатном режиме? Каков порядок отключения выключателей? Изменится ли что-либо, если КЗ – трехфазное? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

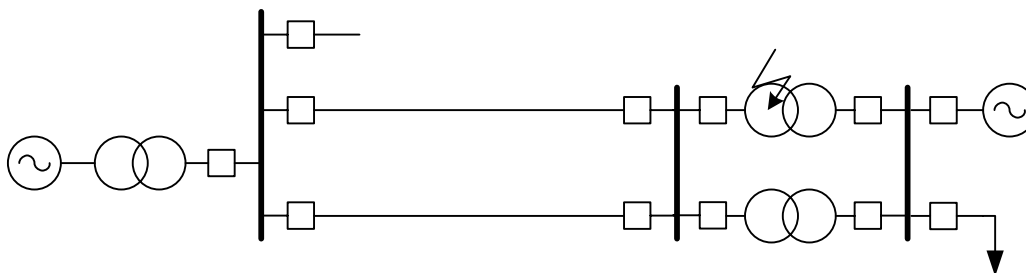
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140204, 140205, 140211*
Дисциплина: *Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

1. Токовая трехступенчатая защита – состав; расчет уставок
2. Реле с торможением – назначение и принцип работы
3. На трансформаторе – см. рис. – сработала на отключение газовая защита. Какое повреждение могло привести к этому? Порядок отключения выключателей? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

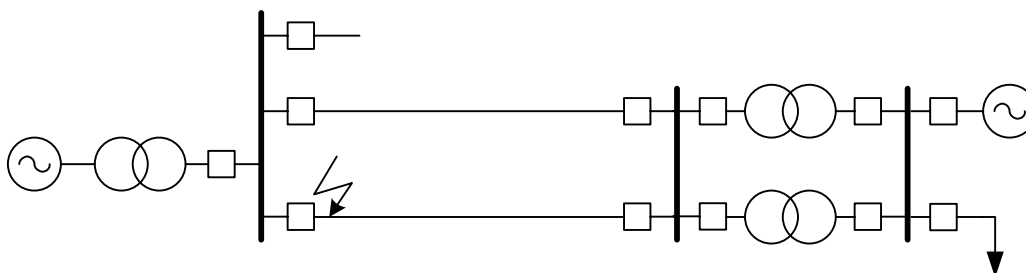
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140204, 140205, 140211*
Дисциплина: *Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1. Автоматическое повторное включение – обоснование применения, требования к исполнению.
2. Трансформаторы тока нулевой последовательности. ТНП с подмагничиванием
3. В начале линии 110 кВ – см. рис. – произошло однофазное КЗ. Какие защиты отключат повреждение при штатной работе? При отказе основной защиты на левом выключателе? В каком порядке будут отключаться выключатели линии в первом и втором случаях? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

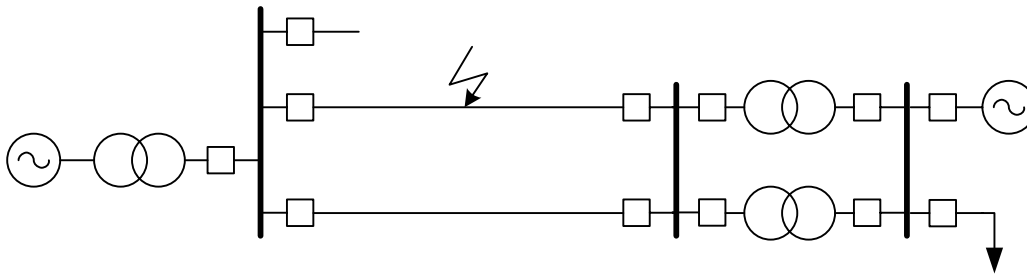
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140204, 140205, 140211*
Дисциплина: *Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

1. Фильтр тока обратной последовательности
2. АЧР – назначение, организация, требования к исполнению.

3. В середине линии 110 кВ – см. рис. – произошло двухфазное КЗ; на приемной стороне – отказ основной защиты. Каков порядок отключения выключателей? Какие защиты подадут команды на выключатели? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

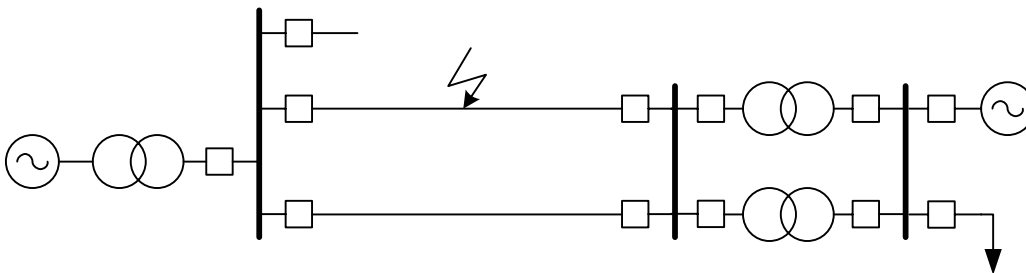
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140204, 140205, 140211*
Дисциплина: *Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

1. Поперечная дифференциальная защита параллельных линий
2. Схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и катушек реле. Коэффициент схемы
3. В середине линии 220 кВ – см. рис. – произошло трехфазное КЗ. При попытке отключения повреждение отказал выключатель на приемной стороне линии. Какие защиты сработали в начале аварии? Какие - на второй стадии? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

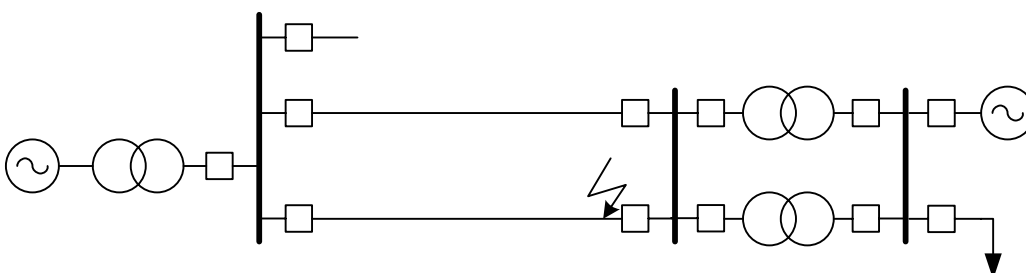
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140204, 140205, 140211*
Дисциплина: *Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

1. Указательные реле: назначение, исполнение
2. Фильтры тока и напряжения нулевой последовательности
3. В конце линии 110 кВ – см. рис. – произошло двухфазное КЗ на землю; на выключателе приемной стороны - отказ основной защиты. Каков порядок работы защит и отключения выключателей при штатной работе и при отказе? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

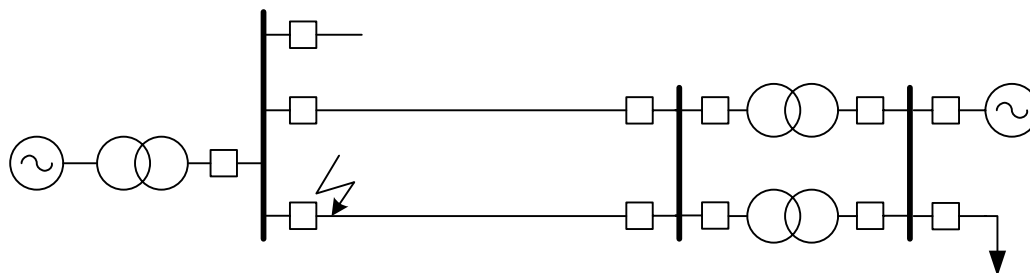
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140204, 140205, 140211*
Дисциплина: *Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

1. Принцип работы продольной дифференциальной защиты.
2. Оперативный ток – назначение. Источники
3. В начале линии 220 кВ – см. рис. – произошло однофазное КЗ, на которое сработали соответствующие защиты. Какие? В каком порядке будут отключаться выключатели линии? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

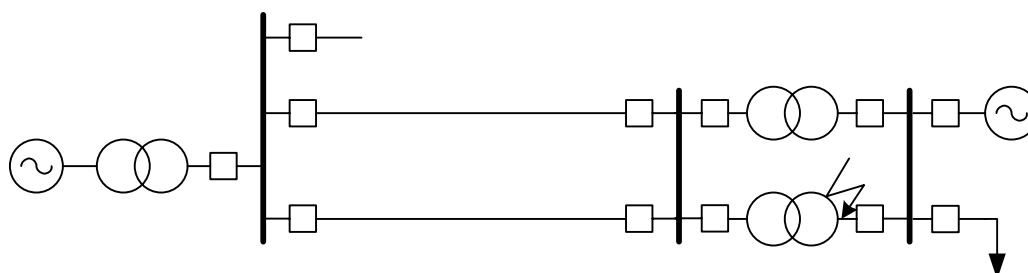
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140204, 140205, 140211*
Дисциплина: *Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

1. Способы повышения чувствительности дифференциальных защит
2. МТЗ. Выбор уставок по току и времени. Схема МТЗ
3. На трансформаторе – см. рис. – перекрытие ввода на стороне высшего напряжения. Какие защиты зафиксируют повреждение? Каков порядок отключения выключателей? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

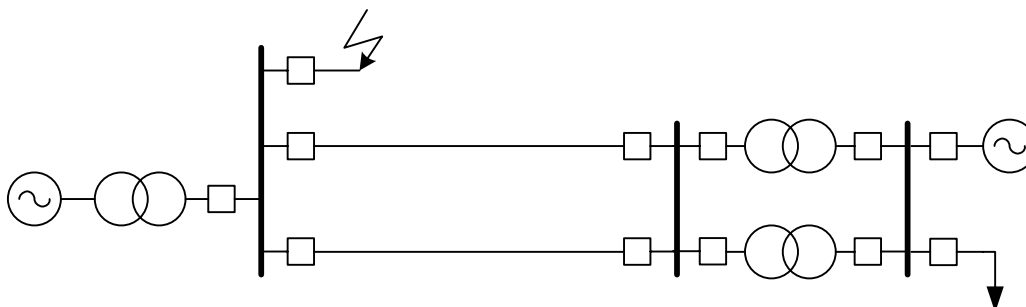
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140204, 140205, 140211*
Дисциплина: *Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

1. Как определить ток повреждения при замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью – см. рис?



2. Дифференциальное реле с магнитным торможением
3. Токовая отсечка. Выбор уставок. Схема отсечки

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

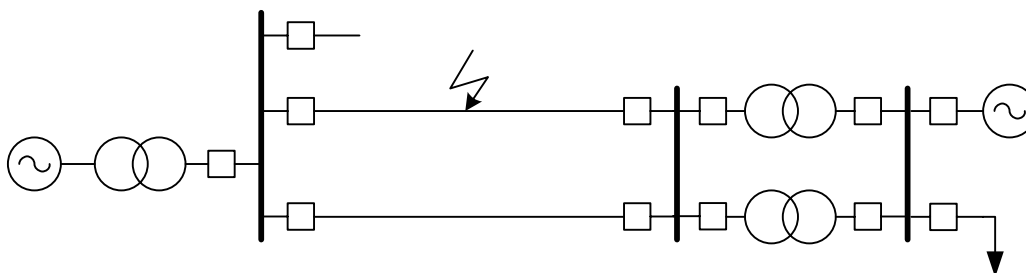
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140204, 140205, 140211*
Дисциплина: *Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11

1. Селективность: смысл этого понятия, способы ее обеспечения.
2. Направленная поперечная дифференциальная защита параллельных линий: область применения, выбор уставок, особенности работы
3. В середине линии 110 кВ – см. рис. – произошло двухфазное КЗ на землю. Каков порядок отключения выключателей? Какие защиты подали команды на выключатели? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

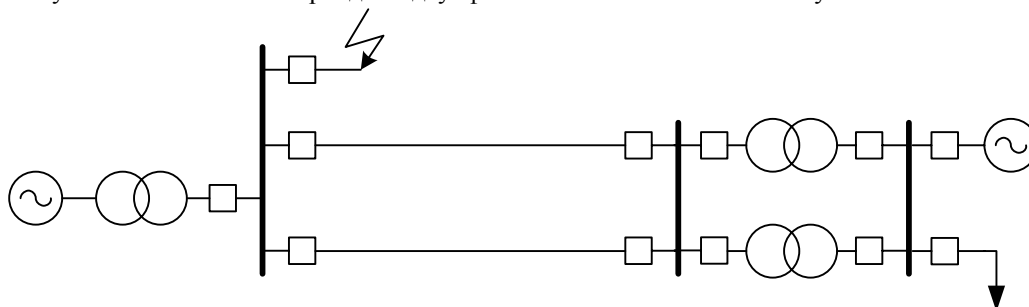
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140204, 140205, 140211*
Дисциплина: *Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12

1. Выбор уставок дистанционной защиты
2. Фильтр напряжения обратной последовательности

3. На линии 110 кВ, находящейся под охранным напряжением – см. рис. – произошло однофазное КЗ на холостом конце. Какие защиты зафиксируют это повреждение? Изменится ли что-либо, если после неуспешного АПВ КЗ перейдет в двухфазное на землю? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры

« 18 » декабря 2006 года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*

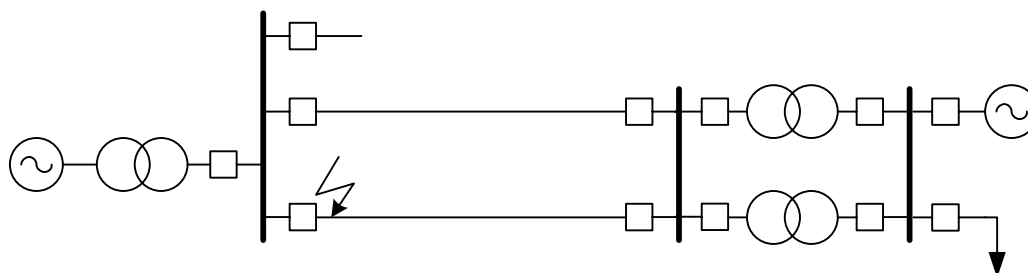
Факультет *энергетический*

Курс *четвертый, 140204, 140205, 140211*

Дисциплина: *Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13

1. Назначение устройств релейной защиты. Основные требования и их реализация
2. Дистанционные защиты. Область применения Уставки.
3. В начале линии 220 кВ – см. рис. – произошло трехфазное КЗ. Какие защиты отключат повреждение при штатной работе? При отказе основной защиты на правом выключателе? В каком порядке будут отключаться выключатели линии в первом и втором случаях? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры

« 18 » декабря 2006 года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*

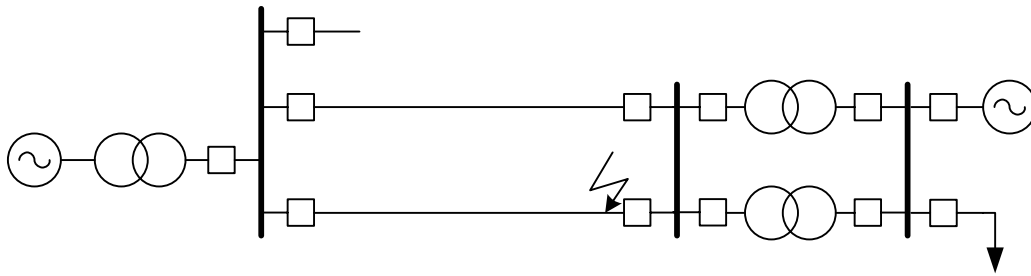
Факультет *энергетический*

Курс *четвертый, 140204, 140205, 140211*

Дисциплина: *Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14

1. Токовая отсечка с выдержкой времени. Токовая трехступенчатая защита
2. Электромагнитное реле направления мощности
3. В конце линии 110 кВ – см. рис. – произошло двухфазное КЗ на землю; на приемной стороне - отказ выключателя. Каков порядок работы защит и отключения выключателей при штатной работе и при отказе? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

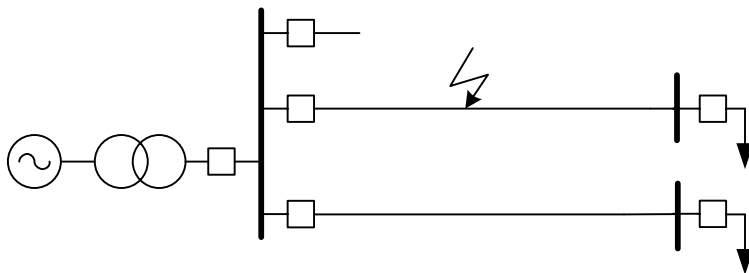
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140204, 140205, 140211*
Дисциплина: *Релейная защита и автоматика электрических систем и СЭС*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 15

1. Принцип выполнения реле сопротивления
2. МТЗ. Выбор уставок по току и времени. Схемы МТЗ на постоянном и переменном оперативном токе
3. Работа сети с изолированной нейтралью в режиме замыкания фазы на землю – см. рис.



2.1.17. Карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава

Вид нагрузки	Профессорско-преподавательский состав
Лекции	Козлов А.Н., к.т.н., доцент
Практические занятия	Козлов А.Н., к.т.н., доцент
Лабораторные работы	Ротачева А.Г., д. доцента
Курсовой проект	Козлов А.Н., к.т.н., доцент
Экзамен	Козлов А.Н., к.т.н., доцент