

Федеральное агентство по образованию
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОУВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой энергетики

_____ Н.В. Савина

« » 2007г.

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

для специальности 140203 - «Релейная защита и автоматизация
электроэнергетических систем»

Составитель: к.т.н., доцент А.Н. Козлов

Благовещенск 2007 г.

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

А. Н. Козлов

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Релейная защита электроэнергетических систем» для студентов очной формы обучения специальности 140203 - «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».

Учебно-методические рекомендации ориентированы на оказание помощи студентам очной формы обучения специальности 140203 - «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» для формирования специальных знаний о назначении, принципах действия и особенностях выполнения современных устройств релейной защиты элементов электроэнергетических систем.

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

© Амурский государственный университет, 2007

© А.Н. Козлов

© ГОУВПО Амурский государственный университет, 2007

**2.1.1. Программа дисциплины, соответствующая требованиям
Государственного образовательного стандарта**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель Департамента образовательных
программ и стандартов профессионального
образования

_____ Л. С. Гребнев

«__»_____ 2001г.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рекомендуется Минобразованием России для направления
подготовки 650900 -ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА,
специальности 210400 – РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Цели и задачи дисциплины.

Целью изучения дисциплины является подготовка инженеров в области релейной защиты и автоматики современных электроэнергетических систем.

Задачей изучения дисциплины является усвоение студентами принципов выполнения защит как отдельных элементов, так и системы в целом, а также основных положений по расчету систем релейной защиты.

2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

- знать основные принципы выполнения релейной защиты а также особенности их использования для осуществления защиты отдельных элементов электрической системы;
- иметь навыки проектирования систем релейной защиты.

3. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		8	9
Общая трудоемкость дисциплины	230	8	9
Аудиторные занятия	119	8	9
Лекции	103	8	9
Лабораторные работы (ЛР)	16	8	9
Самостоятельная работа	111		
Курсовой проект	70		9
Типовой расчет	25	8	
Подготовка к ЛР	16	8	9
Вид итогового контроля		Зачет Экзамен	Зачет Экзамен

4. Содержание дисциплины.

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ЛР
1	Требования к релейной защите	*	
2	Принципы построения защит с относительной селективностью ЛЭП в сети с одним и несколькими источниками питания	*	*
3	Защиты с абсолютной селективностью	*	*
4	Резервирование отказов защит и выключателей	*	
5	Принципы выполнения основных и резервных защит на энергообъектах	*	*
6	Современные и перспективные системы релейной защиты	*	

4.2. Содержание разделов дисциплины.

4.2.1. Требования к релейной защите.

Назначение РЗ. Функции и свойства релейной защиты (РЗ) от коротких замыканий (КЗ). Селективность, устойчивость функционирования и надежность функционирования РЗ. Система числовых оценок основных свойств.

4.2.2. Принципы построения защит с относительной селективностью

ЛЭП в сети с одним и несколькими источниками питания.

Виды повреждений и ненормальных режимов работы линий электропередачи. Простые и сложные повреждения. Расчетные выражения и векторные диаграммы для токов и напряжений при КЗ и разрывах фаз на линии и за трансформатором. Однофазные замыкания на землю. Изменения токов и напряжений при качаниях и асинхронном режиме.

Первичные измерительные преобразователи тока. Назначение и разновидности выполнения. Схема замещения и векторная диаграмма для электромагнитного ТТ. Виды погрешностей. Условия выбора трансформаторов тока для релейной защиты.

Первичные измерительные преобразователи напряжения. Назначение и разновидности выполнения. Схема замещения и упрощенная векторная диаграмма для электромагнитного трансформатора напряжения. Виды погрешностей.

Токовая защита со ступенчатой характеристикой выдержки времени от многофазных КЗ. Структурная схема, назначение отдельных ступеней и расчет их параметров. Максимальная токовая защита с ограниченно-зависимой характеристикой выдержки времени. Особенности выполнения и расчета параметров. Схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока (ТТ) и реле для отдельных ступеней защиты.

Источники оперативного тока защит. Разновидности схем устройств РЗ. Разнесенные схемы максимальных токовых защит на постоянном и переменном оперативном токе.

Токовая направленная защита со ступенчатой характеристикой выдержки времени линий электропередачи с двухсторонним питанием. Структурная схема защиты. Расчет параметров для отдельных ступеней. Схемы включения реле направления мощности. Характеристики срабатывания реле и мертвая зона защиты. Особенности выбора параметров срабатывания и функционирования токовой направленной защиты в кольцевой сети с одним источником питания.

Токовая и токовая направленная защита нулевой последовательности от коротких замыканий на землю линий электропередачи. Достоинства и недостатки включения защиты на слагающие нулевой последовательности по сравнению с включением на полные электрические величины. Трансформаторные фильтры тока и напряжения нулевой последовательности. Структурная схема защиты со ступенчатой характеристикой выдержки времени. Расчет параметров отдельных ступеней. Условия использования в защите разрешающего и блокирующего реле направления мощности. Схемы включения реле. Особенности расчета параметров защиты при наличии в сети параллельных линий и трансформаторов с эффективно заземленной нейтралью.

Защита линий электропередачи от замыканий на землю в сети с изолированной, резонансно-заземленной и резистивной нейтралью. Принципы выполнения защит. Их достоинства и недостатки.

Дистанционная защита линий электропередачи. Принцип выполнения и структурная схема трехступенчатой защиты. Схемы включения пофазных реле сопротивления при междуфазных КЗ и однофазных КЗ на землю. Факторы, влияющие на функционирование отдельных ступеней защиты. Разновидности характеристик срабатывания пофазных реле сопротивления. Оценка влияния качаний и асинхронного режима на функционирование защиты. Устройства блокировки защиты при качаниях. Требования и принципы выполнения блокировок. Принципы выполнения устройств предотвращающих ложные срабатывания

дистанционной защиты при нарушении цепей напряжения. Расчет параметров отдельных ступеней защиты.

4.2.3. Защиты с абсолютной селективностью линий электропередачи.

Принцип выполнения продольной дифференциальной токовой защиты с проводным каналом связи. Ток небаланса, ток срабатывания и оценка чувствительности. Способы повышения чувствительности защиты.

Поперечная дифференциальная токовая направленная защита параллельных линий. Принцип выполнения. Ток срабатывания, зона каскадного действия и «мертвая зона», оценка чувствительности защит от междуфазных КЗ и коротких замыканий на землю. Особенности выполнения цепей оперативного тока защиты.

Принципы выполнения защит линий электропередачи, основанные на использовании высокочастотных каналов связи. Способы использования высокочастотных сигналов. Их достоинства и недостатки. Выполнение высокочастотного канала связи.

Дифференциально-фазная токовая защита с высокочастотной блокировкой. Принцип действия и структурная схема защиты. Необходимость удвоения пусковых органов. Оценка поведения защиты в цикле ОАПВ. Особенности выполнения защиты на линиях с ответвлениями. Расчет параметров защиты.

Фильтровая направленная защита с высокочастотной блокировкой. Принцип действия защиты. Способы пуска высокочастотных передатчиков. Основные измерительные органы защиты и возможные подходы к согласованию их характеристик. Способы повышения чувствительности по напряжению. Необходимость отстройки защиты от емкостного тока линии. Оценка поведения защиты в цикле ОАПВ. Особенности выполнения защиты при наличии на линии ОАПВ, а также на линиях с ответвлениями. Расчет параметров защиты.

Использование высокочастотных сигналов для ускорения отключения КЗ защитами с относительной селективностью.

4.2.4. Резервирование отказов защит и выключателей.

Резервирование: ближнее, местное и дальнее. Достоинства и недостатки отдельных видов резервирования. Устройства резервирования отказа выключателя. Принципы и разновидности выполнения.

4.2.5. Принципы выполнения основных и резервных защит на энергообъектах.

Релейная защита трансформаторов и автотрансформаторов. Виды повреждений и ненормальных режимов работы трансформаторов.

Основные защиты. Принцип действия, разновидности выполнения и методика расчета параметров продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов. Принцип действия и разновидности выполнения газовой защиты. Резервные защиты трансформаторов. Выполнение защит двух- и трехобмоточных понижающих трансформаторов. Защита повышающих трансформаторов. Особенности выполнения защит мощных трансформаторов и автотрансформаторов.

Защита синхронных генераторов. Виды повреждений и ненормальных режимов работы генераторов. Основные защиты синхронных генераторов.

Продольная и поперечная дифференциальная токовая защиты. Защиты от замыканий на землю генераторов работающих на сборные шины и в блоке с повышающим трансформатором. Защита от асинхронного режима и симметричных перегрузок. Защита цепей возбуждения. Резервные защиты. Защиты генератора от внешних симметричных и несимметричных КЗ и перегрузок.

Защита сборных шин электрических станций и подстанций. Виды повреждений шин. Принципы выполнения защиты шин. Защиты с относительной селективностью.

Неполная дифференциальная защита реактированных шин генераторного напряжения. Полные дифференциальные защиты шин и ошинок, разновидности выполнения и особенности расчета параметров.

4.2.6. Современные и перспективные системы релейной защиты.

Современные тенденции развития релейной защиты электрических систем. Системный подход к созданию релейной защиты первичных объектов различного класса.

Система релейной защиты сетей напряжением 110 - 330 кВ. Панели и шкафы защиты серии ШДЭ (ПДЭ) 2800. Структура защит, их функционирование в различных режимах работы и основные положения методики расчета параметров.

Система релейной защиты сетей напряжением 500 кВ и выше. Панели защит серии ПДЭ 2000 и ШЭ 2000. Особенности построения защит и их функционирования в различных режимах.

Система защиты генераторов и блоков генератор-трансформатор. Устройства защиты типа БРЭ 1301, БЭ 1101, БЭ 1102 и БЭ 1103. Структура защит и особенности их функционирования в различных режимах.

Микропроцессорные терминалы, реализующие функции релейной защиты, автоматики и управления, как элементы низшего уровня координированной системы управления объектом. Общая характеристика аппаратных и программных средств.

5. Лабораторный практикум.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	2	Токовая ступенчатая защита с включением на полные токи фаз
2	2	Максимальная токовая направленная защита с включением на полные токи и напряжения
3	2	Токовая ступенчатая защита с включением на слагающие нулевой последовательности
4	3	Дистанционная защита от междуфазных КЗ
5	3	Направленная фильтровая защита с ВЧ блокировкой
6	5	Продольная дифференциальная токовая защита трансформаторов
7	5	Защиты от замыканий на землю синхронных генераторов
8	5	Дифференциальные защиты шин

6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

6.1. Рекомендуемая литература:

а). Основная литература

1. А.М. Федосеев, М.А. Федосеев. Релейная защита электроэнергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1992, 526 с.

б). Дополнительная литература:

1. А.М. Федосеев. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей. М: Энергоатомиздат, 1984, 520 с.
2. А.Ф. Дьяков, В.В. Платонов. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем – М.: Издательство МЭИ, 2000, 246 с.

6.2. Средства обеспечения освоения дисциплины

Компьютерные программы.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Специализированная учебная лаборатория.

8. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

По усмотрению вуза.

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению 6509 - ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА подготовки инженеров специальности 2104 – РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

Программу составил
Васильев А.Н., доцент, МЭИ (ТУ)

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по специальности 210400 – РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Председатель Учебно-методической комиссии по специальности
210400 – РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

_____ А. Ф. Дьяков

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

_____ В. В. Жуков

Председатель Совета УМО по образованию в области
энергетики

_____ Е. В. Аметистов

2.1.2. Рабочая программа дисциплины

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 электроэнергетических систем»

(наименование дисциплины)

для специальности 140203 "Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем"

(шифр и наименование специальности)

Курс 4.5

Семестр 7,8,9

Лекции 77 (32 + 45) (час.)

Экзамен 7,8
(семестр)

Практические (семинарские) занятия 31 (16+15) (час.)

Зачет _____
(семестр)

Лабораторные занятия 31 (16+15) (час.)

Курсовой проект – 9 семестр

Самостоятельная работа 54 (час.), КСР: 40 час

Всего часов 233, в т.ч. ауд. - 139

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 специальности 140203.

(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

Дисциплина “Релейная защита электроэнергетических систем” является основной профилирующей дисциплиной специальности 140203 и предусмотрена Государственным образовательным стандартом в разделе специальных дисциплин под шифром СД-02.

Государственный образовательный стандарт (выдержки)

СД.02 Релейная защита электроэнергетических систем:

требования к релейной защите; принципы построения защит с относительной селективностью в сети с одним и несколькими источниками питания; защиты с абсолютной селективностью; резервирование отказов защит и выключателей; принципы выполнения основных и резервных защит на энергообъектах; современные и перспективные системы релейной защиты генераторов, трансформаторов, энергоблоков, шин, линий электропередачи.

1.1 Цель преподавания дисциплины

Цель изучения дисциплины - формирование знаний и навыков в области проектирования, разработки, наладки и эксплуатации релейной защиты электроэнергетических систем.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Задачей дисциплины является усвоение знаний о роли и месте релейной защиты в автоматическом управлении электроэнергетическими системами, особенностей электромагнитных переходных процессов в электроэнергетических системах в плане получения информации для целей релейной защиты, принципов действия, выполнения и способов обеспечения функционирования устройств релейной защиты, а также приобретения навыков в их проектировании и ознакомлении с методами проверок и испытаний.

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

Изложение содержания дисциплины базируется на математической и общей электротехнической подготовке и знаниях, полученных при изучении специальных дисциплин “Математические задачи энергетики”, “Переходные процессы в электрических системах”, “Электрическая часть станций и подстанций”, “Электрические сети и системы”, “Теория автоматического управления”, “Программирование и применение ЭВМ”.

2.ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС (77 ЧАСОВ)

Седьмой семестр – 32 часа

1. Введение - 2 часа

Назначение релейной защиты. Релейная защита как один из видов противоаварийной автоматики. Ее назначение в повышении надежности и экономичности энергетических систем. Понятие о реле, их классификация и обозначения на электрических схемах.

2. Общие вопросы релейной защиты - 4 часа

Основные повреждения и ненормальные режимы в энергосистемах. Влияние переходных сопротивлений на электрические величины при КЗ. Зоны действия. Понятие о дальнем и ближнем резервировании, основных и резервных защитах, внутренних и внешних КЗ. Выходной эффект релейной защиты. Функции релейной защиты. Общие свойства релейной защиты от КЗ (эффективность функционирования, техническое совершенство, надежность, селективность, устойчивость функционирования). Понятие защиты “абсолютной селективности” (ЗАС) и “относительной селективности” (ЗОС). Понятие ЗОС с зависимой и независимой характеристиками выдержек времени. Общие принципы обеспечения функционирования ЗОС. Назначение “ступеней защиты” и их свойства.

3. Первичные измерительные преобразователи тока и напряжения - 4 часа

Первичные измерительные преобразователи тока, маркировка, специфика работы для релейной защиты. Типы преобразователей (трансформаторы тока, трансреакторы, дистанционные и оптикоэлектронные преобразователи тока). Трансформаторы тока, схемы замещения, погрешности и требования к точности, особые требования к преобразователям тока для быстродействующих защит.

Первичные измерительные преобразователи напряжения, маркировка. Типы преобразователей. Требования к точности для релейной защиты. Трансформаторы напряжения, схемы соединения, отдаваемая мощность, защита от коротких замыканий.

4. 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.

5. Токовые защиты линий электропередачи - 4 часа

Принцип действия и выполнение (измерительные органы, схемы включения, логическая часть) токовых защит от многофазных КЗ со ступенчато-зависимой характеристикой выдержки времени на ЛЭП с односторонним питанием. Выбор уставок (токов срабатывания, выдержек времени) - токовых отсечек без выдержки и с выдержкой времени. Понятие о комбинированной отсечке по току и напряжению. Выбор уставок последней ступени - максимальной токовой защиты (МТЗ).

Схемы соединения трансформаторов тока и измерительных органов (реле). Выбор тока срабатывания реле. Коэффициент схемы. Определение коэффициента чувствительности МТЗ в зависимости от вида КЗ и схемы соединения трансформаторов тока и реле.

Особенности согласования по времени МТЗ с плавно (ограниченно)-зависимыми характеристиками выдержек времени срабатывания.

6. Токовые направленные защиты линий электропередачи - 4 часа

Особенности ЛЭП с двухсторонним питанием как защищаемого объекта. Выполнение ступенчатых токов направленных и ненаправленных защит от междуфазных КЗ на ЛЭП с двусторонним питанием, в том числе в кольцевых сетях с одним источником питания, особенности выбора выдержек времени и тока срабатывания ступеней, проверка необходимости в элементах направления мощности при внешних КЗ и режимах без КЗ с токами "к шинам", влияние токов качаний, понятие о зоне каскадного действия. Влияние токов в неповрежденных фазах на функционирование направленных защит, средства для устранения этого влияния. Оценка чувствительности. Общая оценка и область применения токовых защит от междуфазных КЗ на ЛЭП с двухсторонним питанием. Схемы включения элементов направления мощности на полные токи и напряжения и симметричные составляющие. Понятие о "мертвой зоне" реле направления мощности. Схема токовой направленной защиты для сети с изолированной нейтралью.

Токовые направленные и ненаправленные защиты нулевой последовательности (ТЗНП) со ступенчатыми выдержками времени срабатывания для сетей с эффективным заземлением нейтрали. Особенности выбора параметров срабатывания и выдержек времени всех ступеней, проверка чувствительности, особенности расчета защит для параллельных цепей линий с учетом влияния взаимоиндукции. Оценка и область применения ТЗНП.

7. Защита от замыканий на землю для сетей с изолированной и резонансно-заземленной нейтралью - 4 часа

Электрические величины при замыканиях на землю, неселективная максимальная защита напряжения нулевой последовательности. Фильтры тока нулевой последовательности. Выполнение, выбор токов срабатывания и оценка чувствительности токовой защиты нулевой последовательности. Направленная защита нулевой последовательности для сетей с изолированной нейтралью. Принципы выполнения защит от замыканий на землю с резонансно-заземленной нейтралью. Направленные и ненаправленные защиты, реагирующие на величины переходных процессов при пробое изоляции. Защиты, реагирующие на высшие гармоники установившегося тока замыкания. Использование для защиты от замыканий на землю наложенных токов. Оценка защит.

8. Дистанционные защиты - 4 часа

Принцип действия, выполнение и основные типы характеристик срабатывания измерительных органов сопротивления с двумя входными величинами в комплексной плоскости. Структура дистанционной защиты со ступенчато-зависимыми характеристиками выдержек времени срабатывания, выбор параметров срабатывания и выдержек времени ступеней и оценка чувствительности.

Понятие об области значения сопротивлений на зажимах реле, соответствующих нагрузочному режиму. Использование формы характеристик срабатывания измерительных органов для обеспечения отстроенности и чувствительности. Дистанционные и пусковые органы и предъявляемые к ним требования. Влияние на

функционирование к реле сопротивления малых значений подведенных величин, ток точной работы. “Мертвые зоны” измерительных органов сопротивления и способы их устранения у ступеней защиты. Влияние переходных сопротивлений на функционирование дистанционных защит с учетом “доаварийного режима”. Способы устранения влияния переходных сопротивлений на функционирование ступеней дистанционных защит. Способы подключения реле сопротивления к измерительным трансформаторам тока и напряжения.

Использование комплексной плоскости для анализа поведения измерительных органов сопротивления при качаниях. Определении места центра качаний. Принципы выполнения блокировки при качаниях. Особенности выполнения блокировки при качаниях вторых ступеней.

Принцип выполнения блокировки при нарушениях в цепях напряжения. Выполнение дистанционных защит. Использование одного комплекта дистанционных органов для выполнения нескольких ступеней. Оценка и область применения дистанционной защиты.

9. Токовые и направленные защиты с абсолютной селективностью - 4 часа

Основные типы ЗАС. Токовые продольные защиты, направленные продольные защиты.

Каналы связи (проводные, высокочастотные, радиоканалы). Направленные защиты с высокочастотной блокировкой. Принцип выбора уставок и проверка чувствительности пусковых органов. Принцип действия направленной поперечной защиты. Высокочастотное ускорение ЭОС (дистанционных и токовых ступенчатых направленных нулевой последовательности) для сетей с эффективно заземленными нейтральными.

Восьмой семестр – 45 часов

10. Дифференциальные токовые и токовые направленные защиты с непосредственным сравнением электрических величин - 6 часов

Продольные дифференциальные токовые защиты. Принцип действия.

Токи небаланса. Определение тока срабатывания и чувствительности. Способы снижения тока небаланса. Основные методы повышения чувствительности и отстроенности. Включение реле тока через фильтр 50 Гц, сравнение токов только по фазе. “Торможение” в переходных и установившихся режимах. Включение измерительных органов через промежуточные насыщающиеся трансформаторы. Применение дифференциальных органов с торможением. Тормозная характеристика. Особенности выбора уставок и определение чувствительности защит с торможением. Выполнение защиты ЛЭП с проводным каналом связи. Оценка защиты и область применения.

Дифференциально-фазная токовая защита ЛЭП с высокочастотной блокировкой. Принцип действия. Основные органы защиты. Фазная характеристика. Выбор уставок и проверка чувствительности пусковых органов. Оценка и область применения защиты. Поперечная дифференциальная токовая защита. “Мертвая” зона защиты. Область применения.

Поперечные дифференциальные токовые направленные и ненаправленные защиты ЛЭП. Принцип действия, зона каскадного действия. Выбор установок и проверка чувствительности. Способы повышения чувствительности поперечной дифференциальной токовой защиты нулевой последовательности.

11. Защита синхронных генераторов, работающих непосредственно на шины генераторного напряжения – 8 часов.

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.

12. Защита трансформаторов и автотрансформаторов – 10 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 с соединением обмоток «звезда» и «треугольник». 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.

13. Защита отдельных элементов электрических установок и электродвигателей – 8 часов.

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 токопроводов.

14. Защиты сборных шин – 4 часа

Принципы выполнения защит. Логические защиты. Защиты от питающих присоединений. Дифференциальные защиты шин. Особенности выполнения и работы.

15. Вопросы релейной защиты электроэнергетических систем - 4 часа

Особенности защит сетей различных напряжений. Особенности выполнения защит ЛЭП сверхвысокого и ультравысокого напряжения. Особенности выполнения защит ЛЭП с ответвлениями. Резервирование при отказах защит и выключателей. Принципы осуществления ближнего и дальнего резервирования. Принципы выполнения устройств резервирования при отказах выключателей (УРОВ). Выполнение пусковых органов УРОВ. Применение устройств телеотключения. Ускорение защит после автоматического повторного включения (АПВ). Неселективные токовые защиты в сочетании с АПВ.

16. Элементная база, используемая для релейной защиты - 5 часов

Электромеханическая элементная база. Полупроводниковая элементная база с использованием интегральных микросхем. Выполнение релейной защиты на микропроцессорной элементной базе. Особенности при выполнении измерительных органов и логической части. Понятие о программной защите на микропроцессорной базе. Понятие о способах повышения надежности действия устройств релейной защиты, автоматическом и полуавтоматическом контроле их работоспособности.

3. Примерный перечень практических занятий

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

- 3.1. Токовые защиты в сетях с одним источником питания.
- 3.2 Токовые направления защиты для сетей с двусторонним питанием и кольцевых сетей
- 3.3. Дистанционная защита линий.
- 3.4. Резервные защиты линий
- 3.5. Токовая защита линий нулевой последовательности.
- 3.6. Защита сетей с изолированной нейтралью от замыканий на землю.
- 3.7. Поперечная дифференциальная токовая направленная защита параллельных линий.
- 3.8. Дифференциальная защита трансформатора.
- 3.9. Защита трансформатора с применением реле с торможением
- 3.10. Защиты синхронного генератора.
- 3.11. Защита асинхронного двигателя
- 3.12. Защита шин
- 3.13. Полная схема защиты синхронного генератора
- 3.14. Полная схема защиты силового трансформатора
- 3.15. Полная схема защиты шин

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.
- 4.11. Исследование схемы защиты асинхронного двигателя
- 4.12. Разбор работы схемы защиты секций шин низкого напряжения на переменном оперативном токе
- 4.13. Разбор работы схемы защиты силового трансформатора на переменном оперативном токе
- 4.14. Разбор работы схемы защиты линии на переменном оперативном токе
- 4.15. Полная схема защиты блока

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 курсовому проекту является минимум два листа графической части. Пример задания на курсовой проект приведен в приложении 1.

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА (54 часа)

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 электроэнергетических систем» 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

Часть 1 – зимняя сессия

1. Повреждения и ненормальные режимы элементов электроэнергетической системы – основные понятия, термины и определения, векторные диаграммы для различных видов КЗ в точке повреждения и в месте установки защиты.
2. Назначение устройств релейной защиты. Требования к устройствам релейной защиты
3. Принципы построения, структура устройств релейной защиты. Основные элементы
4. Оперативный ток. Назначение. Источники.
5. Электромеханические реле времени, промежуточные, указательные – назначение, основные элементы конструкции
6. Способы устранения вибрации электромагнитных реле, работающих на переменном токе
7. Схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и катушек реле. Коэффициент схемы.
8. Фильтры тока и напряжения нулевой последовательности
9. Фильтр напряжения обратной последовательности
10. Фильтр тока обратной последовательности
11. Трансформаторы тока нулевой последовательности. ТНП с подмагничиванием
12. Максимальная токовая защита. Выбор уставок по току и времени.
13. Схема МТЗ на постоянном и на переменном оперативном токе.
14. Токовая отсечка. Выбор уставок. Схема отсечки.
15. Токовая отсечка с выдержкой времени. Токовая трехступенчатая защита.
16. Способы повышения чувствительности токовых защит
17. МТЗ с пуском по напряжению.
18. МТЗ на линиях с двусторонним питанием.
19. Реле направления мощности.
20. Особенности работы токовых защит в кольцевых сетях
21. Дистанционные защиты. Область применения. Принцип работы.
22. Выбор уставок дистанционной защиты
23. Принцип выполнения реле сопротивления
24. Поперечная дифференциальная защита параллельных линий
25. Направленная поперечная дифференциальная защита параллельных линий – область применения, выбор уставок, особенности работы
26. Продольная дифференциальная защита элементов электрической сети: принципы организации защиты.
27. Способы повышения чувствительности продольной дифференциальной защиты.
28. Реле с торможением – назначение и принцип работы.
29. Дифференциальное реле с магнитным торможением
30. Работа сети с изолированной нейтралью в режиме замыкания фазы на землю.
31. Требования к схемам управления коммутационными аппаратами. Реализация этих требований на примере схемы управления масляным выключателем.

Часть 2 – летняя сессия

32. Поперечная дифференциальная защита параллельных линий

33. Направленная поперечная дифференциальная защита параллельных линий – область применения, выбор уставок, особенности работы
34. Продольная дифференциальная защита элементов электрической сети: принципы организации защиты.
35. Способы повышения чувствительности продольной дифференциальной защиты.
36. Реле с торможением – назначение и принцип работы.
37. Дифференциальное реле с магнитным торможением
38. Высокочастотная обвязка ВЛ – основные элементы, их назначение
39. Дифференциально-фазная ВЧ защита ВЛ СВН
40. Высокочастотная блокировка от качаний
41. Повреждения и ненормальные режимы генераторов
42. Основные защиты генераторов. Принципы действия защит
43. Односистемная поперечная дифференциальная защита статора генератора
44. Принципы организации защиты статора генератора от замыканий на землю
45. Работа сети с изолированной нейтралью в режиме замыкания фазы на землю.
46. Резервные защиты статора генератора
47. Защита ротора турбогенератора от замыканий в обмотке возбуждения
48. Защита ротора гидрогенератора от замыканий в обмотке возбуждения
49. Газовая защита трансформатора
50. Продольная дифференциальная защита трансформатора – особенности выполнения
51. Реле с торможением серии ДЗТ-11
52. Реле с торможением серии ДЗТ-21
53. Резервные защиты трансформатора
54. Защиты шин - принципы выполнения
55. Дифференциальная защита шин
56. Защита двигателей – основные и резервные защиты
57. Особенности выполнения защиты синхронных двигателей.

9. Учебно-методическая (технологическая) карта дисциплины
«Релейная защита электроэнергетических систем»

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	<i>Введение</i> Назначение релейной защиты. Релейная защита как один из видов противоаварийной автоматики. Ее назначение в повышении надежности и экономичности энергетических систем. Понятие о реле, их классификация и обозначения на электрических схемах - 2 ч		4.1	Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электро-энергетических систем	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	1	
2	2 2.1	<i>Общие вопросы релейной защиты</i> Основные повреждения и ненормальные режимы в энергосистемах. Влияние переходных сопротивлений на электрические величины при КЗ. Зоны действия. Понятие о дальнем и ближнем резервировании, основных и резервных защитах, внутренних и внешних КЗ. Выходной эффект релейной защиты. Функции релейной защиты. – 2 ч	3.1		Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электро-энергетических систем. Часть 1.	Подготовка к практическому занятию	1	
3	2.2	Общие свойства релейной защиты от КЗ (эффективность функционирования, техническое совершенство, надежность, селективность, устойчивость функционирования). Понятие защиты “абсолютной селективности” (ЗАС) и		4.2	Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электро-энергетических систем	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Выборочный опрос

		“относительной селективности” (ЗОС). Понятие ЗОС с зависимой и независимой характеристиками выдержек времени. Общие принципы обеспечения функционирования ЗОС. Назначение “ступеней защиты” и их свойства. – 2 ч.						
--	--	---	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	2.3	<i>Первичные измерительные преобразователи тока и напряжения</i> Первичные измерительные преобразователи тока, маркировка, специфика работы для релейной защиты. Типы преобразователей (трансформаторы тока, трансреакторы, дистанционные и оптикоэлектронные преобразователи тока). Трансформаторы тока, схемы замещения, погрешности и требования к точности, особые требования к преобразователям тока для быстродействующих защит. – 2 ч.	3.2		Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1.	Подготовка к практическому занятию	2	Обсуждение задачи
5	3 3.1	Первичные измерительные преобразователи напряжения, маркировка. Типы преобразователей. Требования к точности для релейной защиты. Трансформаторы напряжения, схемы соединения, отдаваемая мощность, защита от коротких замыканий – 2 ч		4.3	Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Тест
6	3.2	<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 демультиплексированием электромагнитов отключения выключателей. Выпрямительные блоки питания. Использование энергии предварительно заряженных конденсаторов. Источники оперативного тока для полупроводниковых защит - 2 ч	3.3		Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1.	Подготовка к практическому занятию	2	Обсуждение задачи
7	3.3	<i>Токовые защиты линий электропередачи</i> Принцип действия и выполнение (измерительные органы, схемы включения, логическая часть) токовых защит от многофазных КЗ со ступенчато-зависимой характеристикой выдержки времени на ЛЭП с односторонним питанием. Выбор уставок (токов срабатывания, выдержек времени) - токовых отсечек без выдержки и с выдержкой времени. Понятие о комбинированной отсечке по току и напряжению. Выбор уставок последней ступени - максимальной токовой защиты		4.4	Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Выборочный опрос

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	4 4.1	Схемы соединения трансформаторов тока и измерительных органов (реле). Выбор тока срабатывания реле. Коэффициент схемы. Определение коэффициента чувствительности МТЗ в зависимости от вида КЗ и схемы соединения трансформаторов тока и реле. Особенности согласования по времени МТЗ с плавно (ограниченно)-зависимыми характеристиками выдержек времени срабатывания. – 2 ч.	3.4		Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электро-энергетических систем. Часть 1.	Подготовка к практическому занятию	2	Обсуждение задачи
9	4.2	<i>Токовые направленные защиты линий электропередачи</i> Особенности ЛЭП с двухсторонним питанием как защищаемого объекта. Выполнение ступенчатых токов направленных и ненаправленных защит от междуфазных КЗ на ЛЭП с двухсторонним питанием, в том числе в кольцевых сетях с одним источником питания, особенности выбора выдержек времени и тока срабатывания ступеней, проверка необходимости в элементах направления мощности при внешних КЗ и режимах без КЗ с токами “к шинам”, влияние токов качаний, понятие о зоне каскадного действия. Влияние токов в неповрежденных фазах на функционирование направленных защит, средства для устранения этого влияния. Оценка чувствительности. Общая оценка и область применения токовых защит от междуфазных КЗ на ЛЭП с двухсторонним питанием. Схемы включения элементов направления мощности на полные токи и напряжения и симметричные составляющие. Понятие о “мертвой зоне” реле направления мощности. Схема токовой направленной защиты для сети с изолированной нейтралью. – 2 ч.		4.5	Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электро-энергетических систем	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Выборочный опрос
10	4.3	Токовые направленные и ненаправленные защиты нулевой последовательности (ТЗНП) со ступенчатыми выдержками времени срабатывания для сетей с эффективным заземлением нейтрали. Особенности выбора параметров срабатывания и выдержек времени всех	3.5		Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электро-энергетических систем. Часть 1.	Подготовка к практическому занятию	2	Обсуждение задачи

		ступеней, проверка чувствительности, особенности расчета защит для параллельных цепей линий с учетом влияния взаимоиндукции. Оценка и область применения ТЗНП – 2 ч.						
--	--	--	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	5 5.1	<i>Защита от замыканий на землю для сетей с изолированной и резонансно-заземленной нейтралью</i> Электрические величины при замыканиях на землю, неселективная максимальная защита напряжения нулевой последовательности. Фильтры тока нулевой последовательности. Выполнение, выбор токов срабатывания и оценка чувствительности токовой защиты нулевой последовательности. Направленная защита нулевой последовательности для сетей с изолированной нейтралью. – 2 ч.		4.6	Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электро-энергетических систем	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Выборочный опрос Тест
12	5.2	Принципы выполнения защит от замыканий на землю с резонансно-заземленной нейтралью. Направленные и ненаправленные защиты, реагирующие на величины переходных процессов при пробое изоляции. Защиты, реагирующие на высшие гармоники установившегося тока замыкания. Использование для защиты от замыканий на землю наложен-ных токов. Оценка защит. – 2 ч.	3.6		Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электро-энергетических систем. Часть 1.	Подготовка к практическому занятию	2	Обсуждение задачи
13	5.3	<i>Дистанционные защиты</i> Принцип действия, выполнение и основные типы характеристик срабатывания измерительных органов сопротивления с двумя входными величинами в комплексной плоскости. Структура дистанционной защиты со ступенчато-зависимыми характеристиками выдержек времени срабатывания, выбор параметров срабатывания и выдержек времени ступеней и оценка чувствительности. Понятие об области значения сопротивлений на зажимах реле, соответствующих нагрузочному режиму. Использование формы характеристик срабатывания измерительных органов для обеспечения отстроенности и чувствительности. Дистанционные и пусковые органы и предъявляемые к ним требования. Влияние на функционирование к реле сопротивления малых значений подведенных величин, ток		4.7	Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электро-энергетических систем	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	1	Выборочный опрос

точной работы. – 2 ч.

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	6 6.1	“Мертвые зоны” измерительных органов сопротивления и способы их устранения у ступеней защиты. Влияние переходных сопротивлений на функционирование дистанционных защит с учетом «доаварийного» режима. Способы устранения влияния переходных сопротивлений на функционирования ступеней дистанционных защит. Способы подключения реле сопротивления к измерительным трансформаторам тока и напряжения. Использование комплексной плоскости для анализа поведения измерительных органов сопротивления при качаниях. Определение места центра качаний. Принципы выполнения блокировки при качаниях. Особенности выполнения блокировки при качаниях вторых ступеней.-2 ч	3.7		Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электро-энергетических систем. Часть 1.	Подготовка к практическому занятию	2	Обсуждение задачи
15	6.2	<i>Токовые и направленные защиты с абсолютной селективностью</i> Основные типы ЗАС. Токовые продольные защиты, направленные продольные защиты. – 2 ч.		4.8	Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электро-энергетических систем	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	1	Выборочный опрос Тест
16	6.3	Каналы связи (проводные, высокочастотные, радиоканалы). Направленные защиты с высокочастотной блокировкой. Принцип выбора уставок и проверка чувствительности пусковых органов. Принцип действия направленной поперечной защиты. Высокочастотное ускорение ЗОС (дистанционных и токовых ступенчатых направленных нулевой последовательности) для сетей с эффективно заземленными нейтральными - 2 ч.	3.8		Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электро-энергетических систем. Часть 1.	Подготовка к практическому занятию	2	Обсуждение задачи

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Восьмой семестр								
1		<p><i>Дифференциальные токовые и токовые направленные защиты с непосредственным сравнением электрических величин</i></p> <p>Продольные дифференциальные токовые защиты. Принцип действия.</p> <p>Токи небаланса. Определение тока срабатывания и чувствительности. Способы снижения тока небаланса.</p> <p>Основные методы повышения чувствительности и отстроенности. Включение реле тока через фильтр 50 Гц, сравнение токов только по фазе.</p> <p>“Торможение” в переходных и установившихся режимах.</p> <p>Включение измерительных органов через промежуточные насыщающиеся трансформаторы – 2 ч</p> <p>Применение дифференциальных органов с торможением.</p> <p>Тормозная характеристика.</p> <p>Особенности выбора уставок и определение чувствительности защит с торможением.</p> <p>Выполнение защиты ЛЭП с проводным каналом связи.</p> <p>Оценка защиты и область применения.</p> <p>Дифференциально-фазная токовая защита ЛЭП с высокочастотной блокировкой.</p> <p>Принцип действия. Основные органы защиты. Фазная характеристика. Выбор уставок и проверка чувствительности пусковых органов. Оценка и область применения защиты.</p> <p>Поперечная дифференциальная токовая защита. “Мертвая” зона защиты. Область применения – 2ч</p>		4.9	Барзам А.Б., Пояркова Т.М. Лабораторные работы по релейной защите и автоматике	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
2		<p>Поперечные дифференциальные токовые направленные и ненаправленные защиты ЛЭП.</p> <p>Принцип действия, зона каскадного действия. Выбор уставок и проверка чувствительности.</p> <p>Способы повышения чувствительности поперечной дифференциальной токовой защиты нулевой последовательности – 2ч</p>		3.9	Фабрикант В.Л., и др. Задачник по релейной защите	Оформление решенной задачи	1	Защита решенной задачи

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3		<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. Защита низковольтных генераторов. Защита высоковольтных генераторов мощностью до 1 МВт. Защита высоковольтных генераторов мощностью более 1 МВт. – 2 ч.</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 – 2ч</p>		4.10	<p>Барзам А.Б., Пояркова Т.М.</p> <p>Лабораторные работы по релейной защите и автоматике</p>	<p>Изучение материала лекции</p> <p>Подготовка к ЛР</p>	2	Защита ЛР
4		<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. – 2 ч.</p>	3.10		<p>Фабрикант В.Л., и др.</p> <p>Задачник по релейной защите</p>	<p>Оформление решенной задачи</p>	1	Защита решенной задачи
5		<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. Устройство для гашения магнитного поля генератора. Противопожарные устройства. – 2 ч.</p> <p><i>Защита трансформаторов и автотрансформаторов</i></p> <p>Виды повреждений и ненормальных режимов работы трансформаторов и автотрансформаторов. Особенности автотрансформаторов. Токовые защиты трансформаторов от внутренних и внешних коротких замыканий. – 2 ч</p>		4.11	<p>Барзам А.Б., Пояркова Т.М.</p> <p>Лабораторные работы по релейной защите и автоматике</p>	<p>Изучение материала лекции</p> <p>Подготовка к ЛР</p>	2	Защита ЛР

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6		Токовая отсечка. Токовая защита со ступенчатой характеристикой выдержки времени. Защита замыканий на землю понижающих трансформаторов с соединением обмоток «звезда» и «треугольник». 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. – 2 ч.	3.11		Фабрикант В.Л., и др. Задачник по релейной защите	Оформление решенной задачи	1	Защита решенной задачи
7		Дифференциальная токовая отсечка. Дифференциальная защита с токовым реле, включенными через быстронасыщающиеся трансформаторы. Дифференциальная защита с реле, имеющими торможение. Принцип действия газового реле и соответствующей защиты – 2 ч 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. – 2 ч.		4.12	Барзам А.Б., Пояркова Т.М. Лабораторные работы по релейной защите и автоматике	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
8		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. – 2 ч.	3.12		Фабрикант В.Л., и др. Задачник по релейной защите	Оформление решенной задачи	1	Защита решенной задачи

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9		<p><i>Защита отдельных элементов электрических установок и электродвигателей</i></p> <p>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 - 2 ч</p> <p>Токовая и тепловая защита от сверхтоков. Дифференциальная токовая защита. Токовая защита нулевой последовательности. Минимальная защита напряжения. – 2 ч.</p>		4.13	Барзам А.Б., Пояркова Т.М. Лабораторные работы по релейной защите и автоматике	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
10		<p>Виды повреждений и ненормальных режимов синхронных двигателей. Типы защит синхронных двигателей. Защиты синхронных двигателей от несинхронной работы. Защита электродвигателей на переменном оперативном токе. – 2 ч.</p>	3.13		Фабрикант В.Л., и др. Задачник по релейной защите	Оформление решенной задачи	2	Защита решенной задачи
11		<p>Особенности защиты синхронных компенсаторов, батарей статических конденсаторов, выпрямительных агрегатов, преобразовательных установок и трансформаторов электропечных установок, шин токопроводов. – 2 ч.</p> <p><i>Защиты сборных шин</i></p> <p>Принципы выполнения защит. Логические защиты. Защиты от питающих присоединений. – 2 ч.</p>		4.14	Барзам А.Б., Пояркова Т.М. Лабораторные работы по релейной защите и автоматике	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР
12		<p>Дифференциальные защиты шин. Особенности выполнения и работы. – 2 ч</p>	3.14		Фабрикант В.Л., и др. Задачник по релейной защите	Оформление решенной задачи	2	Защита решенной задачи
13		<p><i>Вопросы релейной защиты электроэнергетических систем</i></p> <p>Особенности защит сетей различных напряжений. Особенности выполнения защит ЛЭП сверхвысокого и ультравысокого напряжения. Особенности выполнения защит ЛЭП с ответвлениями. Резервирование при отказах защит и выключателей. Принципы осуществления ближнего и дальнего резервирования. – 2ч</p> <p>Принципы выполнения устройств резервирования при отказах выключателей (УРОВ). Выполнение пусковых органов</p>		4.15	Барзам А.Б., Пояркова Т.М. Лабораторные работы по релейной защите и автоматике	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР

		УРОВ. Применение устройств телеотключения. Ускорение защит после автоматического повторного включения (АПВ). Неселективные токовые защиты в сочетании с АПВ. – 2 ч.						
14		Элементная база, используемая для релейной защиты Электромеханическая элементная база. Полупроводниковая элементная база с использованием интегральных микросхем – 2ч	3.15		Фабрикант В.Л., и др. Задачник по релейной защите	Оформление решенной задачи	2	Защита решенной задачи

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
15		Выполнение релейной защиты на микропроцессорной элементной базе. Особенности при выполнении измерительных органов и логической части. Понятие о программной защите на микропроцессорной базе. Понятие о способах повышения надежности действия устройств релейной защиты, автоматическом и полуавтоматическом контроле их работоспособности. – 3 ч.					2	Выборочный опрос

Девятый семестр

1						Выполнение КП	2	
2						Выполнение КП	2	
3						Выполнение КП	2	
4					Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем	Выполнение КП	4	Проверка расчетов
5				Выполнение КП		2		
6				Выполнение КП		2		
7				Выполнение КП		4	Проверка расчетов	
8				Выполнение КП		2		
9				Выполнение КП		2		
10				Выполнение КП		4	Проверка расчетов	
11				Выполнение КП		2		
12				Выполнение КП		4	Проверка расчетов	
13				Выполнение КП		2		
14					Козлов А.Н., Ротачев Ю.А. Релейная защита и автоматика	Выполнение КП	2	
						Выполнение КП	2	
						Выполнение КП	4	Проверка листов графики
						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.
Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 800 с.

Дополнительная:

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

Приложение 1.

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 электроэнергетических систем»

Курс: пятый
Специальность: 210400
Группа: 146
Студент: Авдеев П.В.

Дата защиты курсового проекта:
01 декабря 2005 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 рассчитать уставки этих устройств.
2. Рассчитать параметры релейной защиты трансформатора подстанции «Хорогочи».
3. Привести электрические схемы рассчитанных защит

Алгоритм выбора и расчета защит:

- 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 _____ Козлов А.Н.

2.1.3. График самостоятельной работы студентов:

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
Восьмой семестр				
1	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР	На текущей неделе
2	Оформление решенной задачи	1	Защита решенной задачи	На текущей неделе
3	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР	На текущей неделе
4	Оформление решенной задачи	1	Защита решенной задачи	На текущей неделе
5	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР	На текущей неделе
6	Оформление решенной задачи	1	Защита решенной задачи	На текущей неделе
7	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР	На текущей неделе

8	Оформление решенной задачи	1	Защита решенной задачи	На текущей неделе
9	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР	На текущей неделе
10	Оформление решенной задачи	2	Защита решенной задачи	На текущей неделе
11	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР	На текущей неделе
12	Оформление решенной задачи	2	Защита решенной задачи	На текущей неделе
13	Изучение материала лекции Подготовка к ЛР	2	Защита ЛР	На текущей неделе
14	Оформление решенной задачи	2	Защита решенной задачи	На текущей неделе
15	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос	На текущей неделе

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
Девятый 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 аппаратурой 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 подстанции 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: характеристику 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", "ИЛИ", "НЕ"?

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:

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

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

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

$U_{\text{фазн.}}$ – фазное напряжение сети;

ω – угловая частота;

C_L – емкость фазы защищаемой линии, мкф/км.

Определить величину C_L достаточно сложно, поэтому ток срабатывания защиты определяют по заданному коэффициенту чувствительности, который для кабельных линий равен 1,25, а для воздушных линий – 1,5:

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

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

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

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

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

Эти токи определяются следующим образом:

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

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

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

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

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

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 $I_{\text{повр.л.}}$ 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

$$U_{с.р.} = \frac{k_n \cdot 3U_{03}}{k_e \cdot n_{ТV0}} + U_{нб.}, \quad (8)$$

где k_n – коэффициент надежности, принимаемый 1,5;

k_e – 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;

$n_{ТV0}$ – коэффициент трансформации трансформатора напряжения, определяемый по формуле

$$n_{ТV0} = \frac{U_{фазн.ном.}}{100/3}. \quad (9)$$

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

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

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

$$U_{р.макс.} = \frac{3U_0}{n_{ТV0}} = \frac{3U_{фазн.ном.}}{U_{фазн.ном.}/100/3} = 100 \text{ В}. \quad (11)$$

Коэффициент чувствительности защиты

$$k_u = \frac{U_{p.макс.}}{U_{с.р.}}. \quad (12)$$

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:

$$I_{с.з.} = \frac{k_n \cdot \psi k_z}{k_{\theta}} \psi I_{раб. макс.} \quad (15)$$

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_e – 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_z – коэффициент запуска двигателей, определяемый расчетом;

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

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

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:

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

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

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

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_{TA} – коэффициент трансформации трансформатора тока:

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

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

Чувствительность защиты

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

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 точке $K2$, для $W3$ – в точке $K3$) – рис. 1.

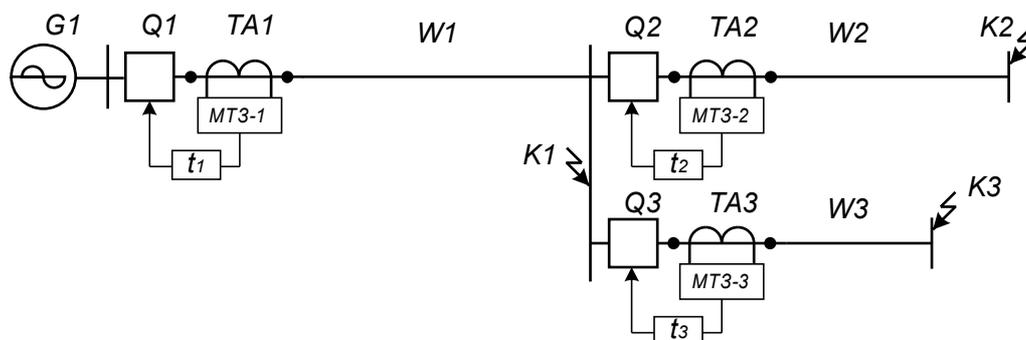


Рис. 1. Максимальные токовые защиты в радиальной сети с односторонним питанием.

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

$$t_1 \geq t_2 + \Delta t, \quad (21a)$$

$$t_1 \geq t_3 + \Delta t, \quad (21б)$$

где t_1 – выдержка времени рассчитываемой защиты;

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

Δt – ступень селективности:

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

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:

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

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 $KV2$:

$$U_{2c.з.} = 0,064U_{ном.}, \quad (24)$$

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

Вторичное напряжение срабатывания реле $KV2$ на выходе фильтра:

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

Чувствительность фильтр-реле напряжения обратной последовательности:

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

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.

В упрощенных расчетах:

$$U_{2.к.мин.}^{(2)} = 0,54U_{ном.}. \quad (27)$$

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

Токоты отсечки на линиях электропередачи.

Ток срабатывания отсечки:

$$I_{с.з.} = k_n \psi I_{к.макс.}^{(3)}, \quad (28)$$

где k_n – 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

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.} \cdot \psi_{k_{cx}}}{n_{TA}} \quad (29)$$

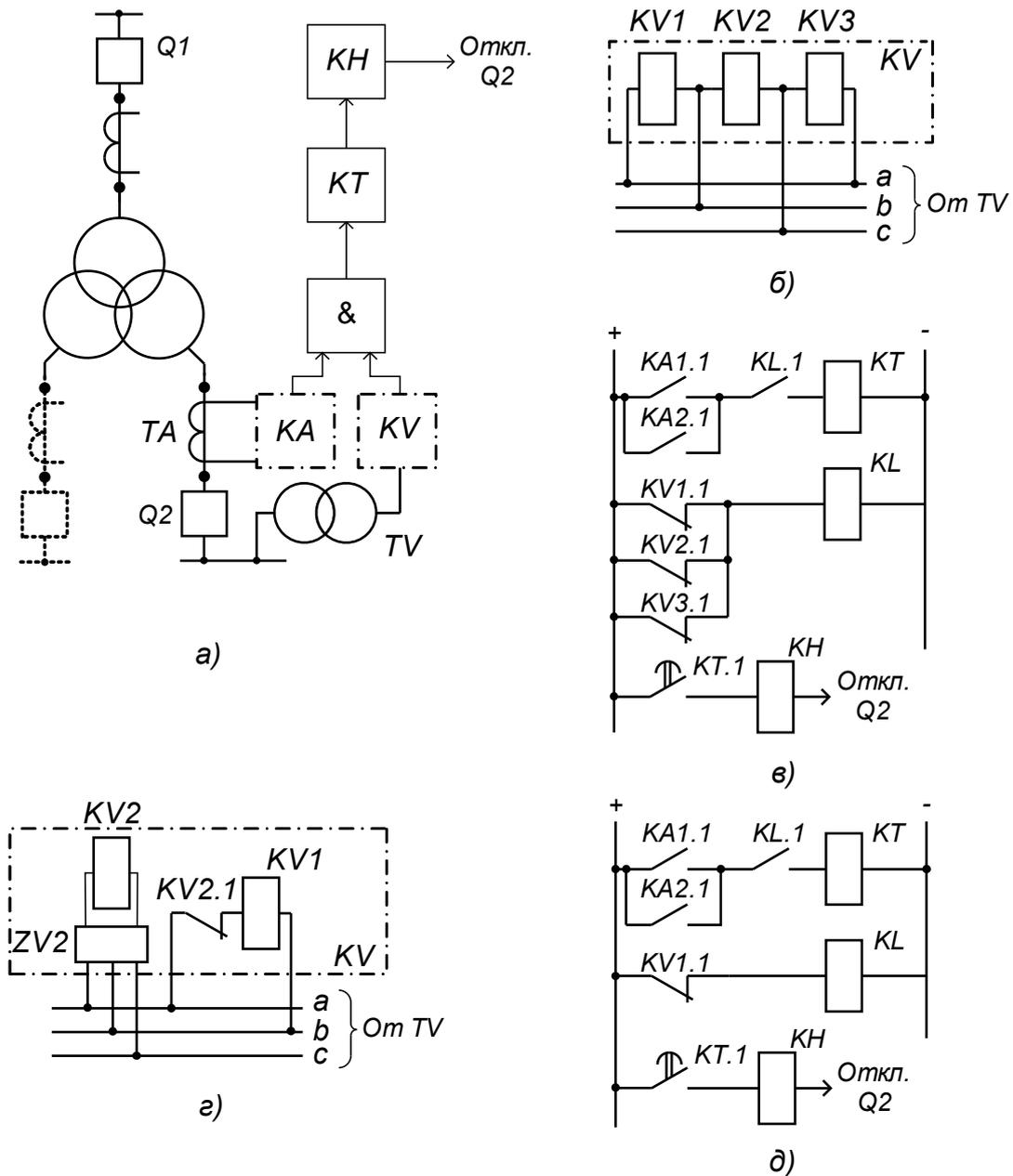


Рис. 2. Максимальная токовая защита с пуском по напряжению:
 а – структурная схема МТЗ; б, в – цепи переменного напряжения и оперативные цепи для МТЗ с пуском напряжения; г, д – цепи переменного напряжения и оперативные цепи для МТЗ с комбинированным пуском.

Зона действия осечки 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).

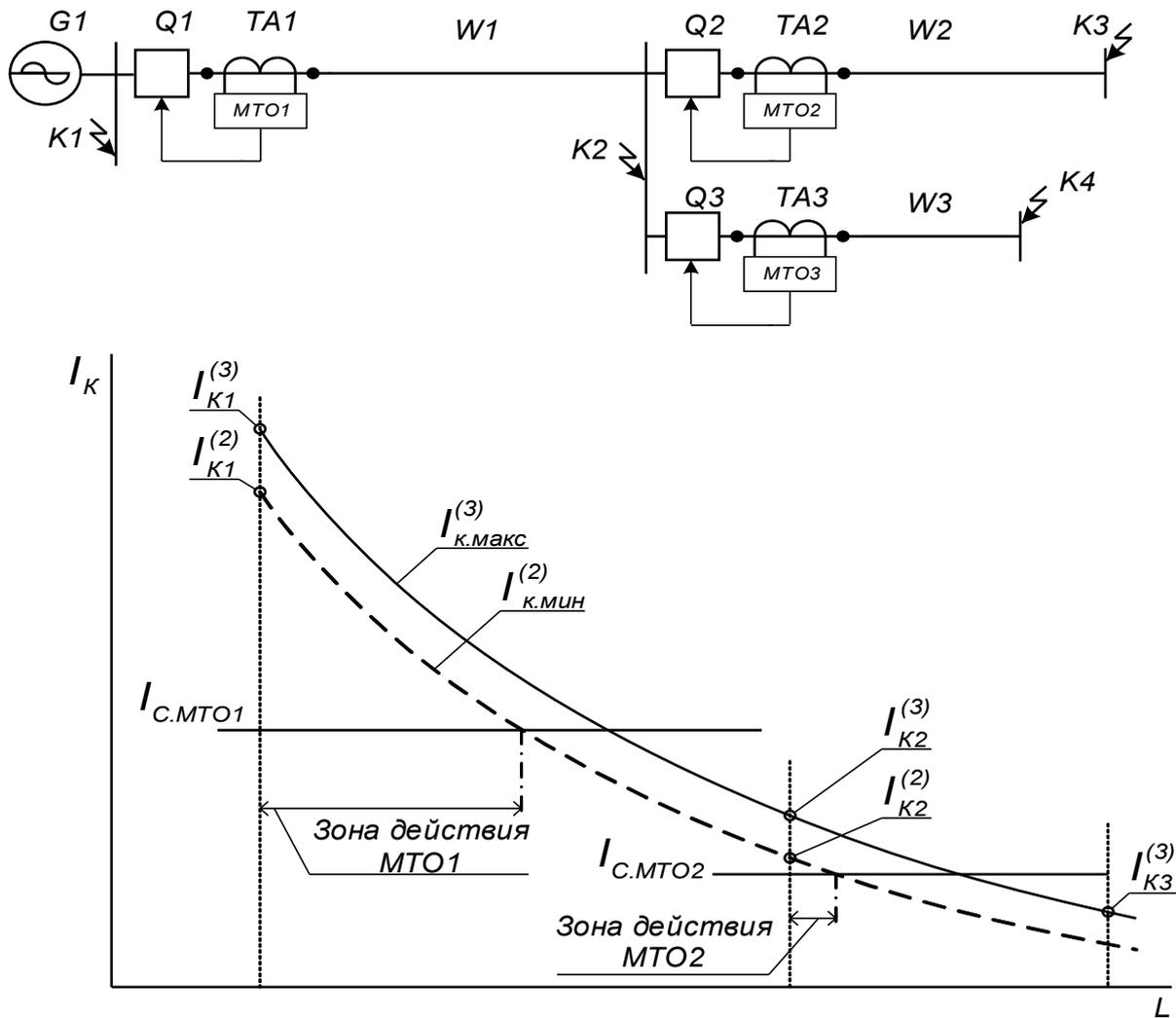


Рис. 3. Определение зоны действия токовых отсечек.

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

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

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:

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

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 2,0.

Поскольку зона действия токовой отсечки не выходит за пределы защищаемой линии, она выполняется без выдержки времени: $t_{\text{защ.}} \approx 0$. 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

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

$$I_{с.з.} \dot{=} k_{н2} \dot{C} I_{неп.}, \quad (33)$$

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:

$$I_{с.з.6} < I_{с.з.4} < I_{с.з.2} < I_{с.з.1}, \quad (34)$$

$$I_{с.з.3} < I_{с.з.5} < I_{с.з.7} < I_{с.з.1}. \quad (35)$$

Разница в величинах тока срабатывания составляет обычно около 10%.

Ток срабатывания реле определяется аналогично (18):

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.3.}}{n_{TA}} \psi k_{cx}. \quad (36)$$

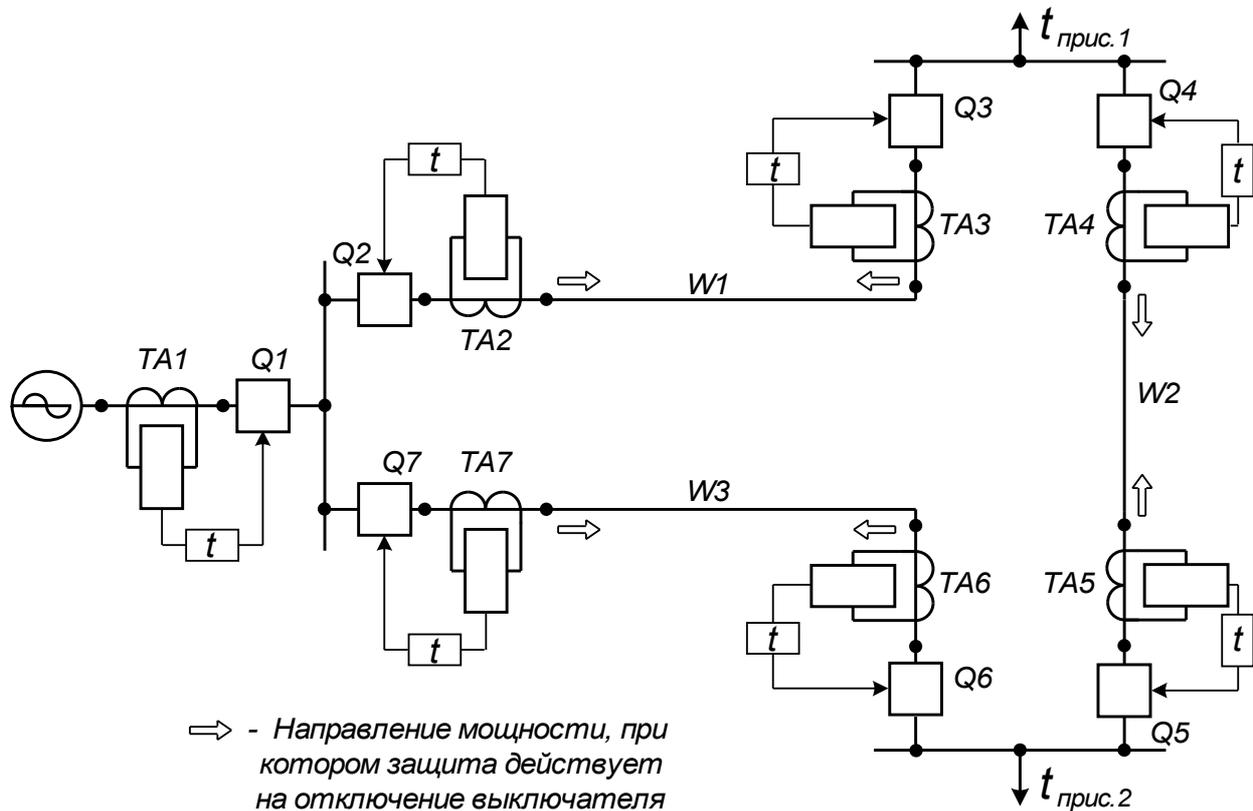


Рис. 4. Схема кольцевой сети и размещение комплектов МНЗ на линиях (номер защиты соответствует номеру выключателя).

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:

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

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

За расчетное значение принимается большее из полученных значений выдержек времени.

Чувствительность защиты

$$k_{\chi} \geq \frac{I_{K3мин.}}{I_{c.3.}}, \quad (39)$$

где $I_{K3мин.}$ – ток двухфазного КЗ на шинах противоположной по отношению к защите подстанции в минимальном режиме работы. Если защита – основная, то k_{χ} должен быть не менее 1,5; для резервных защит – не менее 1,25.

Величина «мертвой» зоны по напряжению определяется по формуле:

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

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

$S_{с.р.мин.}$ – минимальная мощность срабатывания реле при токе

$$I_p = I_{K3}^{(3)} / n_{TA}; \text{ для реле РБМ-171 и РБМ-271 } S_{с.р.мин.} = S_{с.р.} \psi (I_p / I_{ном.})$$

мощность $S_{с.р.}$ 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;

$\alpha = 90^0 - \gamma_U$ – угол, дополняющий до 90^0 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:

$$I_{с.з.} \geq k_n \psi I_{K3макс.}, \quad (42)$$

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

где k_n – коэффициент надежности, принимаемый для реле РТ-40 равным

1,2-1,3, для реле РТ-80 – 1,5-1,6;

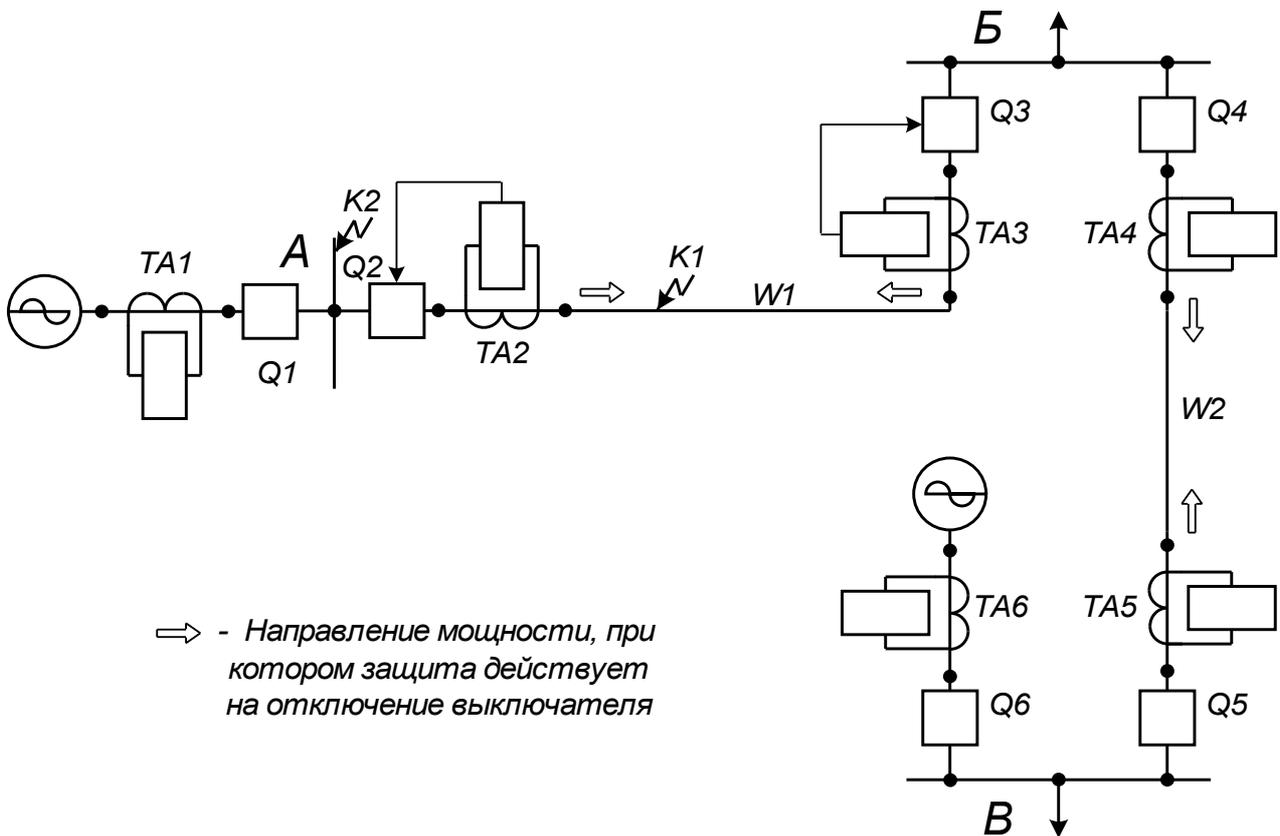


Рис. 5. Токовые отсечки на линиях с двусторонним питанием.

$I_{K3\text{макс.}}$ – максимальный ток КЗ, протекающий через защиту при повреждении на шинах противоположной подстанции;

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

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

где \mathcal{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 защиты, 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):

$$z_{\check{c}.3.1}^{\check{y}} = 0,854z_{W1}, \quad (45)$$

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

Выдержка времени первой ступени

$$t_{\check{c}.3.1}^{\check{y}} = 0,1 \ddot{e} 0,2 \text{ с.} \quad (46)$$

Сопротивление срабатывания второй ступени защиты ДЗ-1:

согласуется по чувствительности с первой ступенью защиты следующей линии:

$$z_{\check{c}.3.1}^{\check{y}} \leq 0,854(z_{W1} + k4z_{\check{c}.3.2}^{\check{y}}), \quad (47)$$

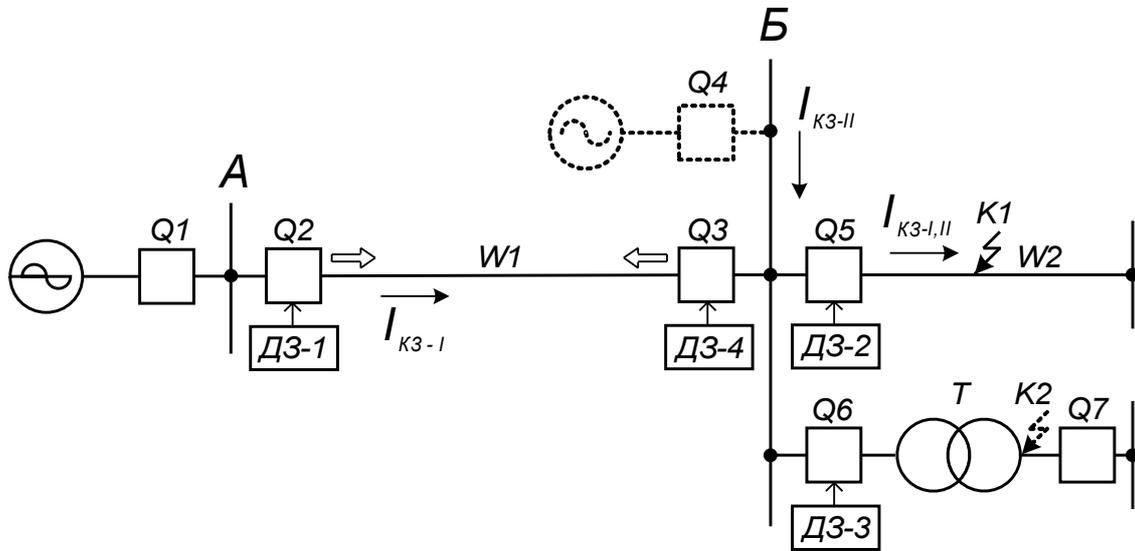


Рис. 6. Выполнение дистанционных защит на участке сети.

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

$$z_{\check{e}.3.1} \geq 0,85 \cdot (z_{W1} + z_{T_{мин.}}), \quad (48)$$

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

$z_{\check{e}.3.2}$ – сопротивление срабатывания первой ступени защиты последующей 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 А. Если источников питания несколько (второй ИП – на подстанции Б), сопротивление срабатывания второй ступени защиты определяется по формулам:

$$z_{\check{e}.3.1} \geq 0,85 \cdot (z_{W1} + k \cdot z_{\check{e}.3.2} \cdot k_{\check{m}/p}^{\check{y}}), \quad (49)$$

$$z_{\check{e}.3.1} \geq 0,85 \cdot (z_{W1} + z_{T_{мин.}} \cdot k_{\check{m}/p}^{\check{y}}), \quad (50)$$

где $k_{\check{m}/p}^{\check{y}}$ и $k_{\check{m}/p}^{\check{y}}$ – коэффициенты токораспределения, которые позволяют учесть неравенство токов КЗ, протекающих в разных комплектах дистанционной защиты. Общая формула для этих коэффициентов:

$$k_{m/p} = \frac{I_{K3_{посл.}}}{I_{K3_{пред.}}}, \quad (51)$$

где $I_{K3носл.}$ и $I_{K3пред.}$ – 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, $k_{m/p}^{\check{y}}$ определяется при КЗ в точке К1:

$$k_{m/p}^{\check{y}} = \frac{I_{K3-I,II}}{I_{K3-I}}. \quad (52)$$

Аналогично определяется $k_{m/p}^{\check{y}}$, но токи рассчитываются при КЗ в точке К2.

Выдержка времени второй ступени (применительно к ДЗ-1)

$$t_{\check{y}.3.1} \geq t_{\check{y}.3.2} + \Delta t, \quad (53)$$

$$t_{\check{y}.3.1} \geq t_{c.3.T(осн)} + \Delta t, \quad (54)$$

где $t_{\check{y}.3.2}$ – 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

$$k_{\check{y}} = \frac{z_{\check{y}.3.1}}{z_{W1}}. \quad (55)$$

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,25.

Сопротивление срабатывания третьей ступени

$$z_{\check{y}.3.1} = \frac{z_{раб.мин.}}{k_n \cdot k_{\check{y}}}. \quad (56)$$

где $k_n = 1,1 \text{ ÷ } 1,2$ – коэффициент надежности;

$k_{\check{y}} = 1,05 \text{ ÷ } 1,2$ – коэффициент возврата реле;

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

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

где $U_{раб.мин.}$ – минимальное значение междуфазного напряжения в месте установки защиты в условиях самозапуска электродвигателей, принимаемое

равным $(0,8 - 0,9)U_{ном.}$;

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

Сопротивление срабатывания третьей зоны направленных дистанционных защит:

$$z_{раб.мин.} = \frac{U_{раб.мин.}}{\sqrt{3} \chi_{кн} \chi_{кв} \chi_{кзап.} \chi_{I_{раб.макс.}} \chi_{\cos(\varphi_{м.ч.} - \varphi_{раб.})}}, \quad (58)$$

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

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

Выдержка времени третьей ступени:

$$t_{\check{\check{z}}_{3.1}} \leq t_{\check{\check{z}}_{3.2}} + \Delta t, \quad (59)$$

$$t_{\check{\check{z}}_{3.1}} \leq t_{с.з.Т(рез)} + \Delta t, \quad (60)$$

где $t_{\check{\check{z}}_{3.2}}$ – выдержка времени третьей ступени последующей защиты (ДЗ-2);

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

Чувствительность третьей ступени:

$$k_{\check{\check{z}}} = \frac{z_{\check{\check{z}}_{3.1}}}{z_{КЗмакс.}}, \quad (61)$$

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

$$z_{КЗмакс.} = z_{W1} + z_{W2} \chi_{k_{m/p.мин.}}, \quad (62)$$

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

$k_{m/p.мин.}$ – 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 $k_{\check{y}} < 1,2$) сопротивление срабатывания третьей ступени защиты выбирается по формуле:

$$z_{\check{y}.3.1} \leq 0,85 \left(z_{W1} + 0,85 \left(z_{\check{y}.3.2} \cdot k_{m/p.макс.} \right) \right), \quad (63)$$

где $z_{\check{y}.3.2}$ – сопротивление срабатывания второй ступени последующей защиты, определяемое по формулам (47) – (48) или (49) – (50). Тогда выдержка времени будет выбираться по формуле:

$$t_{\check{y}.3.1} \geq t_{\check{y}.3.2} + \Delta t, \quad (64)$$

где $t_{\check{y}.3.2}$ – 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:

$$I_{с.з.} = \frac{k_n \cdot k_z}{k_e} \cdot I_{раб.макс.}, \quad (65)$$

где все составляющие определяется аналогично максимальной токовой защите.

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

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

где $k_n = 1,2$ – 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

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

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

$$z_{c.з.} = k_{\check{y}} \check{y} z_{W1}, \quad (68)$$

где $k_{\check{y}}$ – коэффициент чувствительности, равный 1,5;

z_{W1} – сопротивление защищаемой линии.

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

$$z_{c.з.} \leq k_{\check{y}} \check{y} (z_{W1} + z_{W2}), \quad (69)$$

где $k_{\check{y}} = 1,2$ – коэффициент чувствительности;

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

Сопротивление срабатывания защиты при коротком замыкании в зоне резервирования за трансформатором

$$z_{c.з.} \leq k_{\check{y}} \check{y} (z_{W1} + z_T). \quad (70)$$

Сопротивление срабатывания защиты по условию отстройки от минимального значения сопротивления нагрузки

$$z_{c.з.} \leq \frac{0,9 \check{y} U_{ном.}}{\sqrt{3} \check{y} k_{\check{H}} k_{\check{B}} k_{\check{з.п.}} \check{y} I_{раб.макс.}}, \quad (71)$$

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

$k_{\check{з.п.}}$ – коэффициент запуска двигателей, определяемый расчетом;

$k_{\check{B}} = 1,3$ – коэффициент возврата защиты;

$k_{\check{H}} = 1,2$ – коэффициент надежности;

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

Сопротивление срабатывания защиты по условию согласования с последующей дистанционной защитой:

$$z_{c.з.1} \leq 0,85 \check{y} (z_{W1} + z_{c.з.2}). \quad (72)$$

Сопротивление срабатывания защиты по условию согласования с последующей максимальной токовой защитой

$$z_{c.з.} \leq \frac{U_{ном.}}{2 \check{y} k_{\check{H}} \check{y} I_{c.з.}} - z_{сист.мин.}, \quad (73)$$

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

$k_n = 1,15 \text{ ÷ } 1,2$ – 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):

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

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).

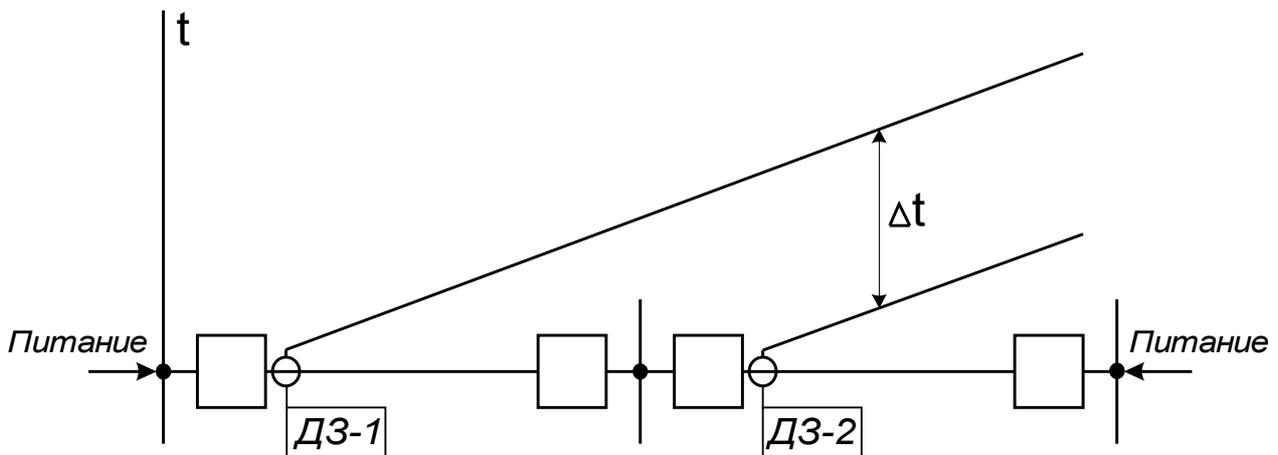


Рис. 7. Плавные характеристики выдержки времени.

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

$$t_{с.з.1} = 0,94z_{с.з.1} \text{ Ч} a, \quad (74)$$

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 – степень селективности, равная 0,5 - 0,6 с.

При коротком замыкании в зоне резервирования

$$a_2 = \frac{a_{\text{посл.}} \cdot \psi(z_{\check{c}.3.1} - z_{W1}) + \Delta t}{z_{\check{c}.3.1}}. \quad (76)$$

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

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{U_{\text{ном.}}}{2\psi(z_{c.з.1} + z_{c.мин.})}, \quad (79)$$

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

$$I_{K3\text{расч.}}^{(2)} = \frac{I_{K3\text{мин.}}^{(2)}}{k_{\check{w}} \psi k_{\check{w}}}, \quad (80)$$

где $k_{\check{w}}$ – коэффициент надежности, равный 1,1 - 1,2;

$k_{\check{w}}$ – 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.

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.

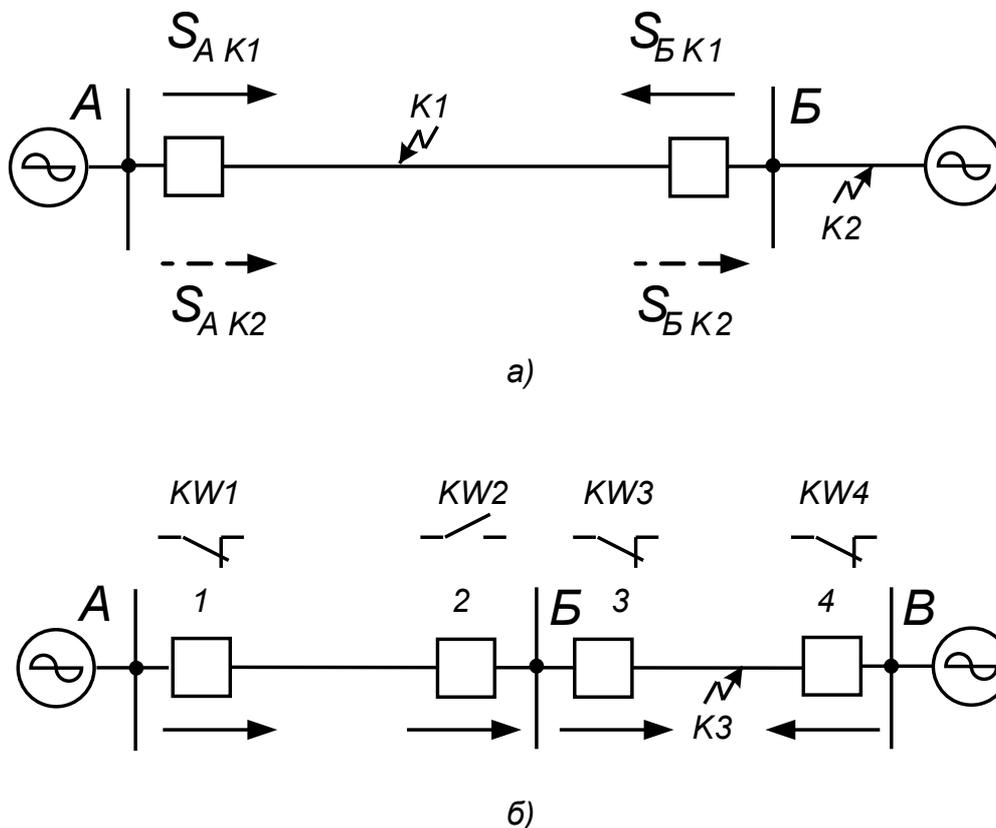


Рис. 8. Направление мощности по концам ЛЭП:
 а) при КЗ на ЛЭП (K1) или за ее пределами (K2);
 б) действие реле направления мощности в случае КЗ.

Тогда при КЗ в точке $K3$ (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.

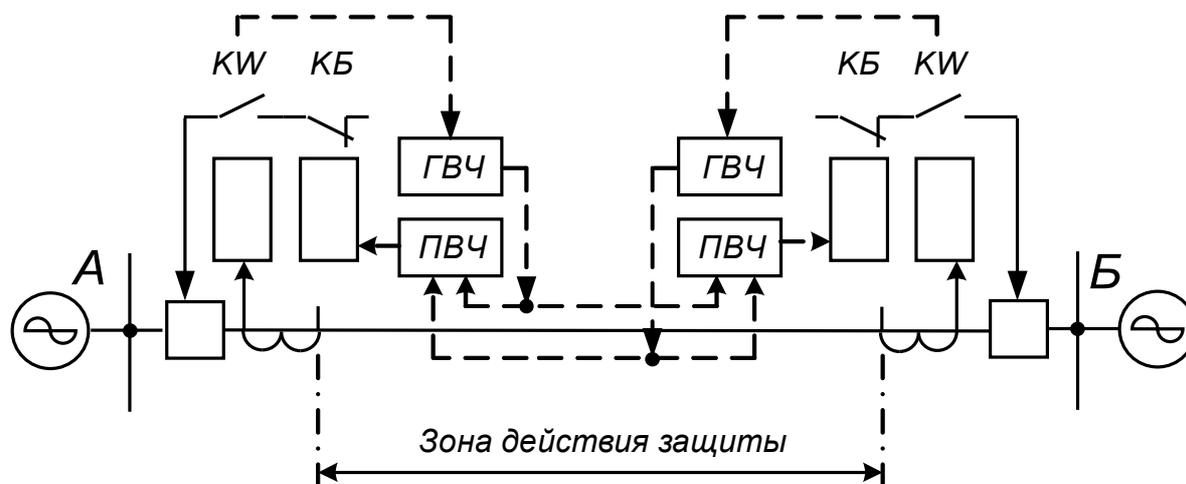


Рис. 9. Принцип действия направленной защиты с ВЧ-блокировкой.

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

$$I_{с.з.} = k_n \cdot 4I_{нб.расч.}, \quad (81)$$

где k_n – коэффициент надежности, принимаемый 1,25;

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

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

где k_a – коэффициент, учитывающий наличие аperiodической 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:

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

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

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

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:

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

где $I_{0.макс.}$ – 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:

$$k_{\chi} = \frac{(3I_{0.мин.}^{(1)})^2 \chi_{0сист.}}{n_{ТА} \chi_{n_{TV}} \chi_{S_{с.р.}}}, \quad (91)$$

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

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

$n_{ТА}, n_{TV}$ – коэффициенты трансформации трансформаторов тока и на-

пряжения.

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:

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

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

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 неидентичностью 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 быстронасыщающегося трансформатора установленным.

Первая составляющая тока небаланса:

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

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:

$$I_{нб.}^{II} = \frac{\Delta N_{\alpha} \%}{100} \cdot \underset{\text{И}}{\text{Ж}} \underset{\text{Ш}}{\text{Ц}} k_{ток.\alpha} + \frac{\Delta N_{\beta} \%}{100} \cdot \underset{\text{И}}{\text{Ж}} \underset{\text{Ш}}{\text{Ц}} k_{ток.\beta} \cdot \underset{\text{Ш}}{\text{Ц}} I_{расч.}^{(3)}, \quad (96)$$

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 $k_{ток.\alpha} = I_{КЗ-G1}^{(3)} / I_{КЗ-G1,2}^{(3)}$, $k_{ток.\beta} = I_{КЗ-G2}^{(3)} / I_{КЗ-G1,2}^{(3)}$.

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 $I_{\check{y}}$ и $I_{\check{z}}$ (рис. 10 а,б).

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

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

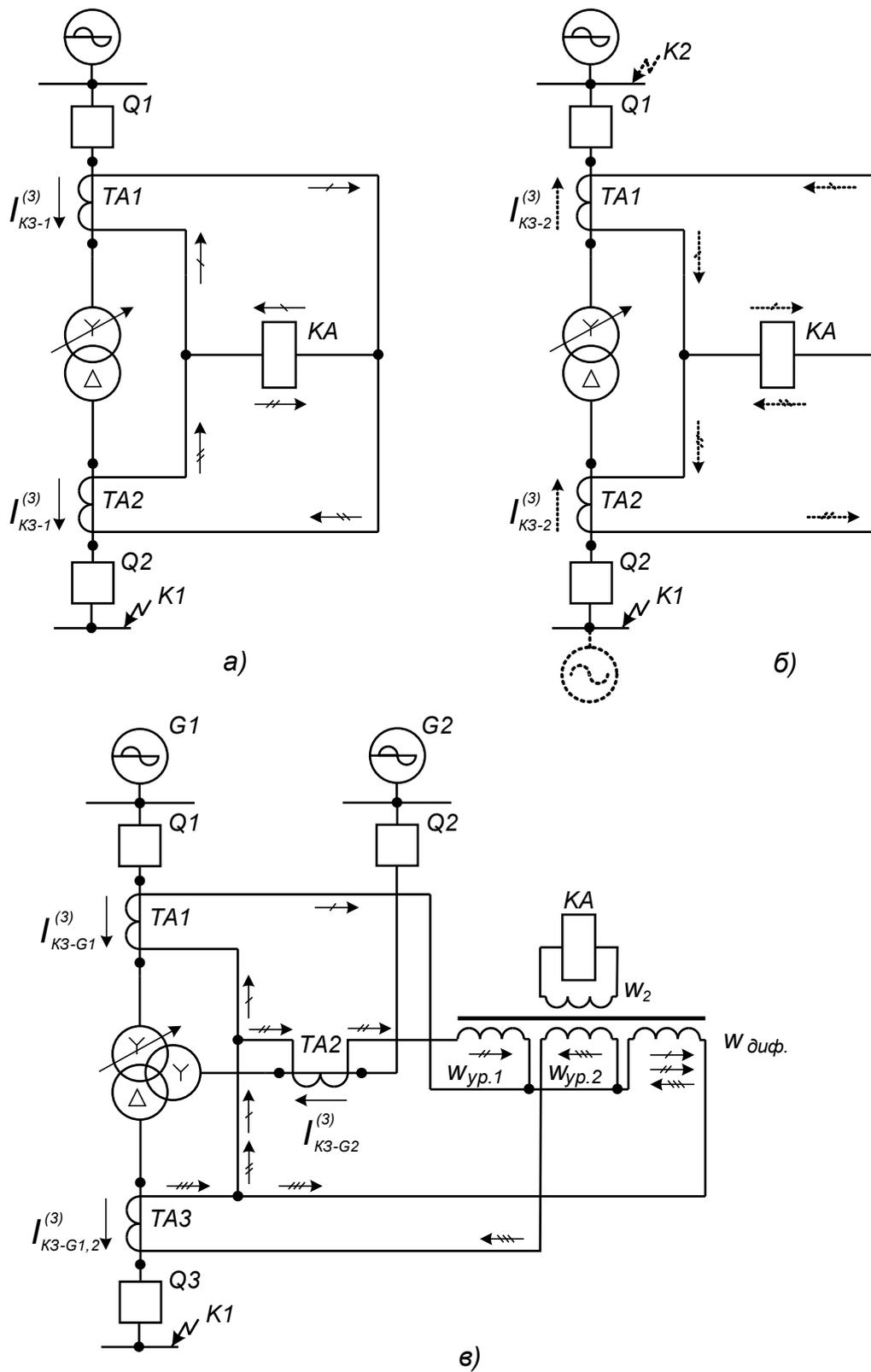


Рис. 10. Принцип выполнения дифференциальной защиты трансформатора
 а, б – двухобмоточного, в – трехобмоточного, с использованием реле с БНТ.

Четвертая составляющая тока небаланса

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

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:

$$I_{с.з.} = k_n \psi I_{КЗмакс.}, \quad (99)$$

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:

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

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:

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

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

Вторичные токи, протекающие в реле:

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

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

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{k_{сх.} \chi I_{с.з.}}{n_{ТА}}. \quad (104)$$

Предварительная проверка на чувствительность

$$k_{\check{ч}} = \frac{I_{р.полн.}}{I_{с.р.}}, \quad (105)$$

где $I_{р.полн.}$ – 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 $I_{р.полн.}$		
	высшего напряжения	среднего напряжения	низшего напряжения
1	2	3	4
Трехфазное на стороне звезды высшего напряжения	$\frac{\sqrt{3} \chi I_{КЗв.н.}}{n_{ТАв.н.}}$	$\frac{\sqrt{3} \chi I_{КЗс.н.}}{n_{ТАс.н.}}$	$\frac{I_{КЗн.н.}}{n_{ТАн.н.}}$

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
Трёхфазное на стороне треугольника низшего напряжения	$\frac{\sqrt{3} \mathcal{U}_{KЗв.н.}}{n_{ТАв.н.}}$	$\frac{\sqrt{3} \mathcal{U}_{KЗс.н.}}{n_{ТАс.н.}}$	$\frac{I_{KЗн.н.}}{n_{ТАн.н.}}$
Двухфазное на стороне звезды высшего напряжения	$\frac{2 \mathcal{U}_{KЗв.н.}}{n_{ТАв.н.}}$	$\frac{2 I_{KЗс.н.}}{n_{ТАс.н.}}$	$\frac{2 \mathcal{U}_{KЗн.н.}}{\sqrt{3} \mathcal{U}_{ТАн.н.}}$
Двухфазное на стороне звезды среднего напряжения	$\frac{2 \mathcal{U}_{KЗв.н.}}{\sqrt{3} \mathcal{U}_{ТАв.н.}}$	$\frac{2 I_{KЗс.н.}}{\sqrt{3} \mathcal{U}_{ТАс.н.}}$	$\frac{2 \mathcal{U}_{KЗн.н.}}{\sqrt{3} \mathcal{U}_{ТАн.н.}}$
Двухфазное на стороне треугольника низшего напряжения	$\frac{\sqrt{3} \mathcal{U}_{KЗв.н.}}{n_{ТАв.н.}}$	$\frac{\sqrt{3} \mathcal{U}_{KЗс.н.}}{n_{ТАс.н.}}$	$\frac{I_{KЗн.н.}}{n_{ТАн.н.}}$
Однофазное на землю на стороне звезды высшего напряжения при отключенном выключателе этой стороны и отсутствии питания со стороны среднего напряжения	–	–	$\frac{I_{KЗн.н.}}{\sqrt{3} \mathcal{U}_{ТАн.н.}}$

Примечание: $I_{KЗв.н.}$, $I_{KЗс.н.}$, $I_{KЗн.н.}$ – 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 $k_n = 3 \text{ ÷ } 5$, 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 быстронасыщающийся 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. Большее 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 $k_{ч} \geq 2$, 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 уравнивательных – от 0 до 34 витков, также с интервалом в один виток. Использовать можно все обмотки или только уравнивательные (в последнем случае снимается накладка 2-4 – рис. 11).

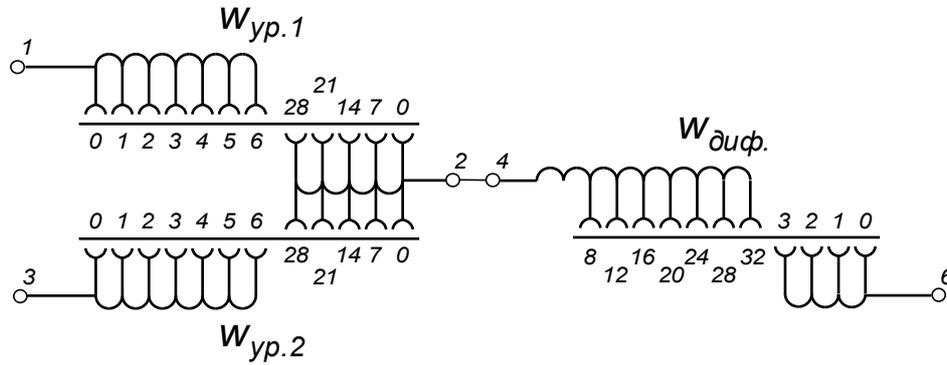


Рис. 11. Отводы первичных обмоток промежуточного быстронасыщающегося трансформатора реле РНТ-565.

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:

$$I_{\check{c}.з.} = \frac{I_{с.р.осн.} \cdot \chi_{n_{ТА}}}{k_{сх.}} = \frac{(F_{с.р.} / w_{осн.уст.}) \cdot \chi_{n_{ТА}}}{k_{сх.}} \quad (109)$$

и сравнивается с уточненным током небаланса. Если $(I_{\check{c}.з.} / I_{нб.уточн.}) \geq 1,3$ – 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:

$$k_{\check{c}} = \frac{\sum I_{р.} \cdot \chi_w}{F_{с.р.}} = \frac{I_{втор.осн.} \cdot \chi_w w_{осн.уст.} + I_{втор.i} \cdot \chi_w w_{уст.i}}{F_{с.р.}} \geq 2, \quad (110)$$

где $I_{втор.осн.}$, $I_{втор.i}$ – 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:

$$F_{p.расч.} = k_n \chi_{к.сх.} \chi \frac{I_{нб.уточн.}}{n_{ТА}} \chi W_{расч.}, \quad (111)$$

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:

$$F_{т.расч.} = k_1 \chi \sqrt[3]{\frac{F_{p.расч.}^2}{100} \frac{\chi}{\psi} - 1}, \quad (112)$$

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:

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

где $I_{K3i}^{(3)}$ – максимальный ток внешнего трехфазного КЗ на стороне, где установлена тормозная обмотка.

Число витков тормозной обмотки

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

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

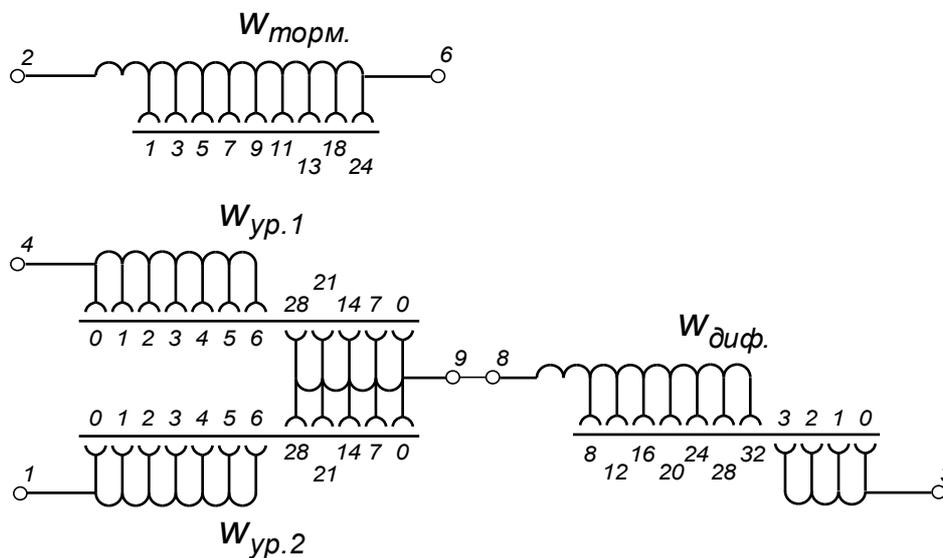


Рис. 12. Отводы первичных обмоток БНТ реле ДЗТ-11.

Чувствительность защиты при наличии торможения:

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

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

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

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;

$w_{\text{р.пит.}}$ – 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

$$F_{p.c.p.} = \frac{100}{1 - k_2 \Psi(F_{m.pacch.}/F_p)}, \quad (117)$$

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 комплекта защиты – собственно автотрансформатора (АТ), подключаемая к трансформаторам тока ТА3, 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 $I_{нб.pacch.}$ 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).

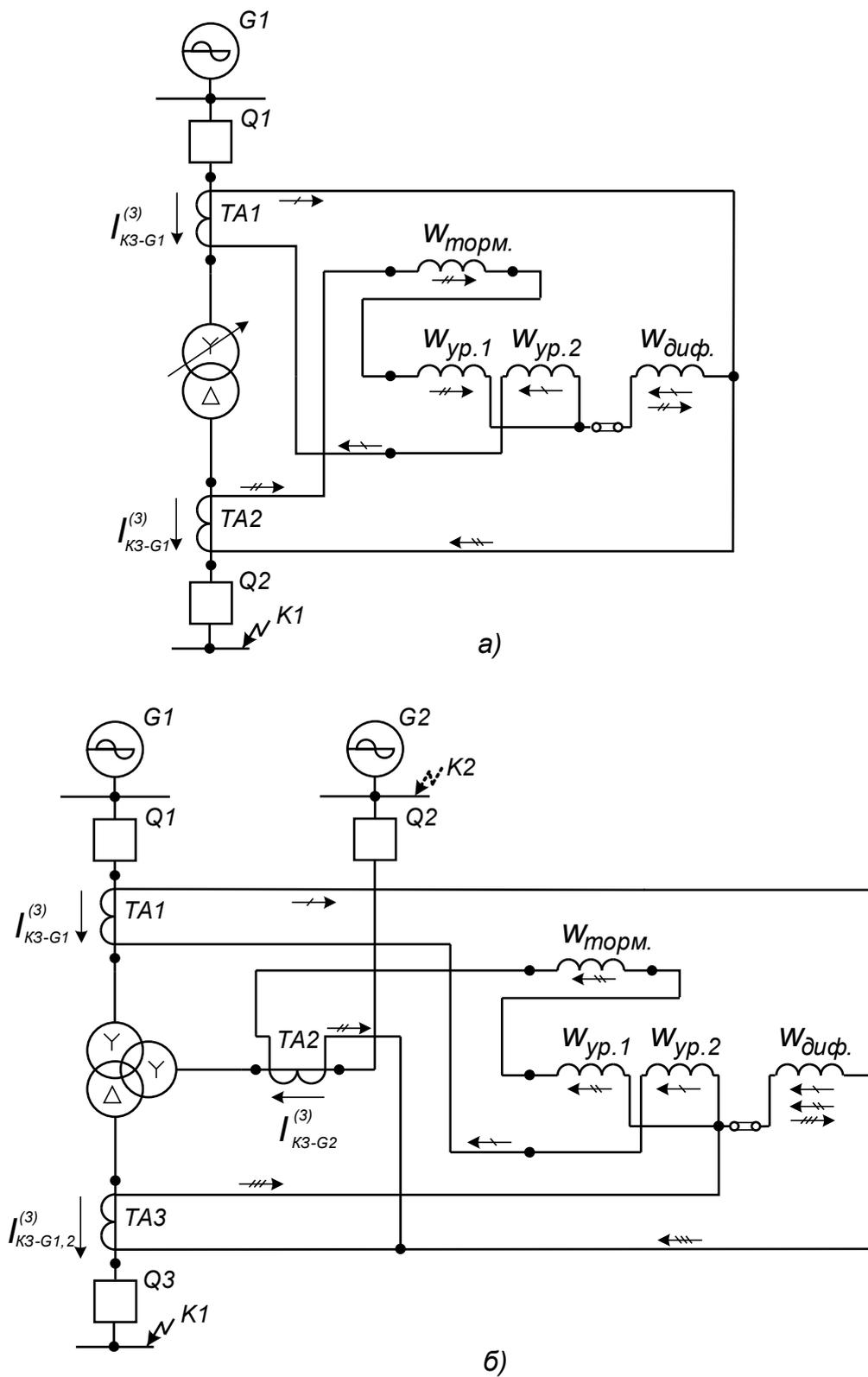


Рис. 13. Схемы включения тормозных обмоток реле ДЗТ-11
 а – в защите двухобмоточного трансформатора, б – в защите
 трехобмоточного трансформатора (в плечо с бóльшим током
 внешнего КЗ в точке К2).

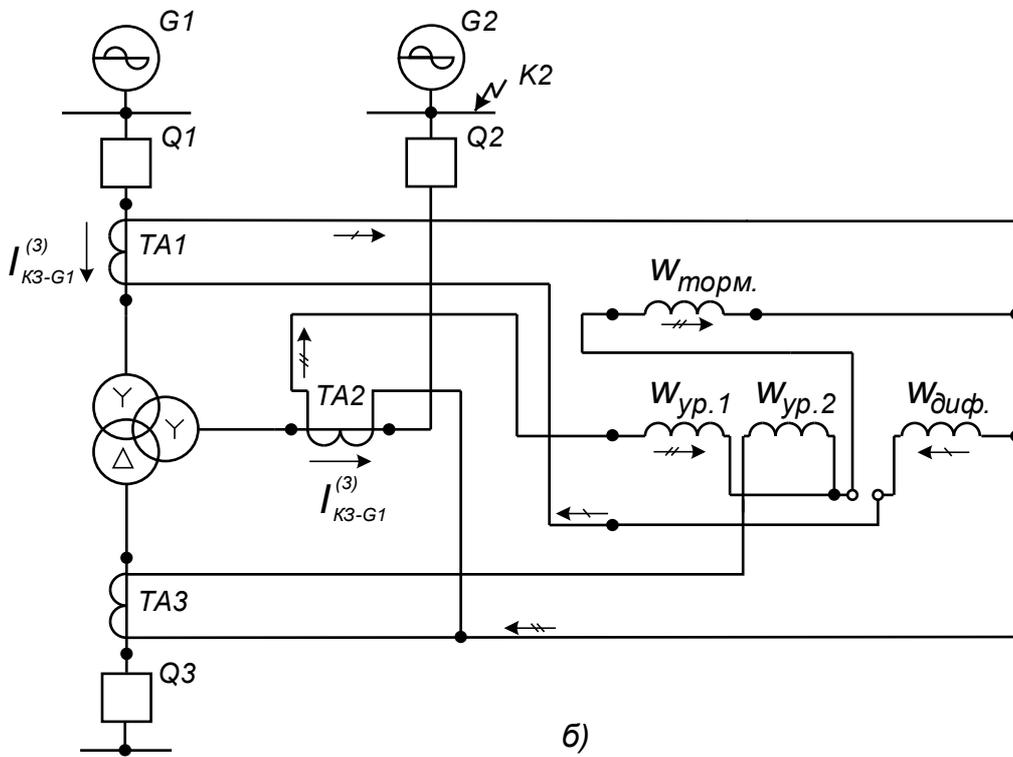
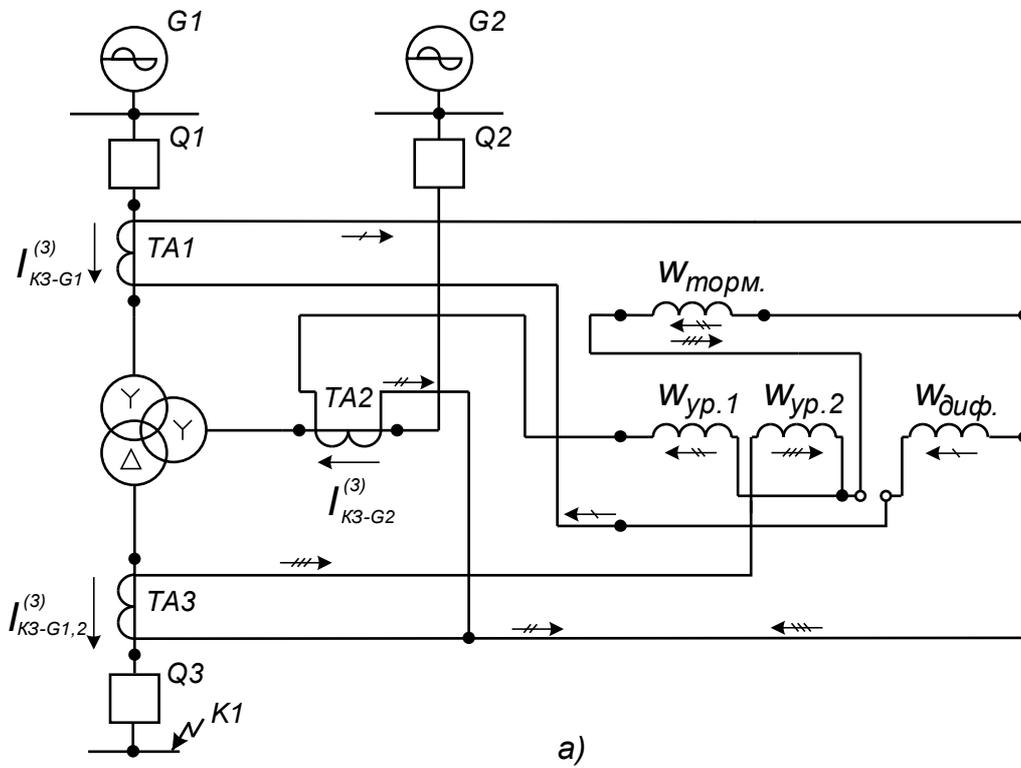


Рис. 14. Включение тормозных обмоток реле ДЗТ-11 на сумму токов сторон среднего и низкого напряжения: а – внешнее КЗ на стороне НН, в тормозной обмотке – ток $I_{\check{\check{W}}}^{(3)}$, б – внешнее КЗ на стороне СН – ток $I_{\check{\check{Y}}}^{(3)}$.

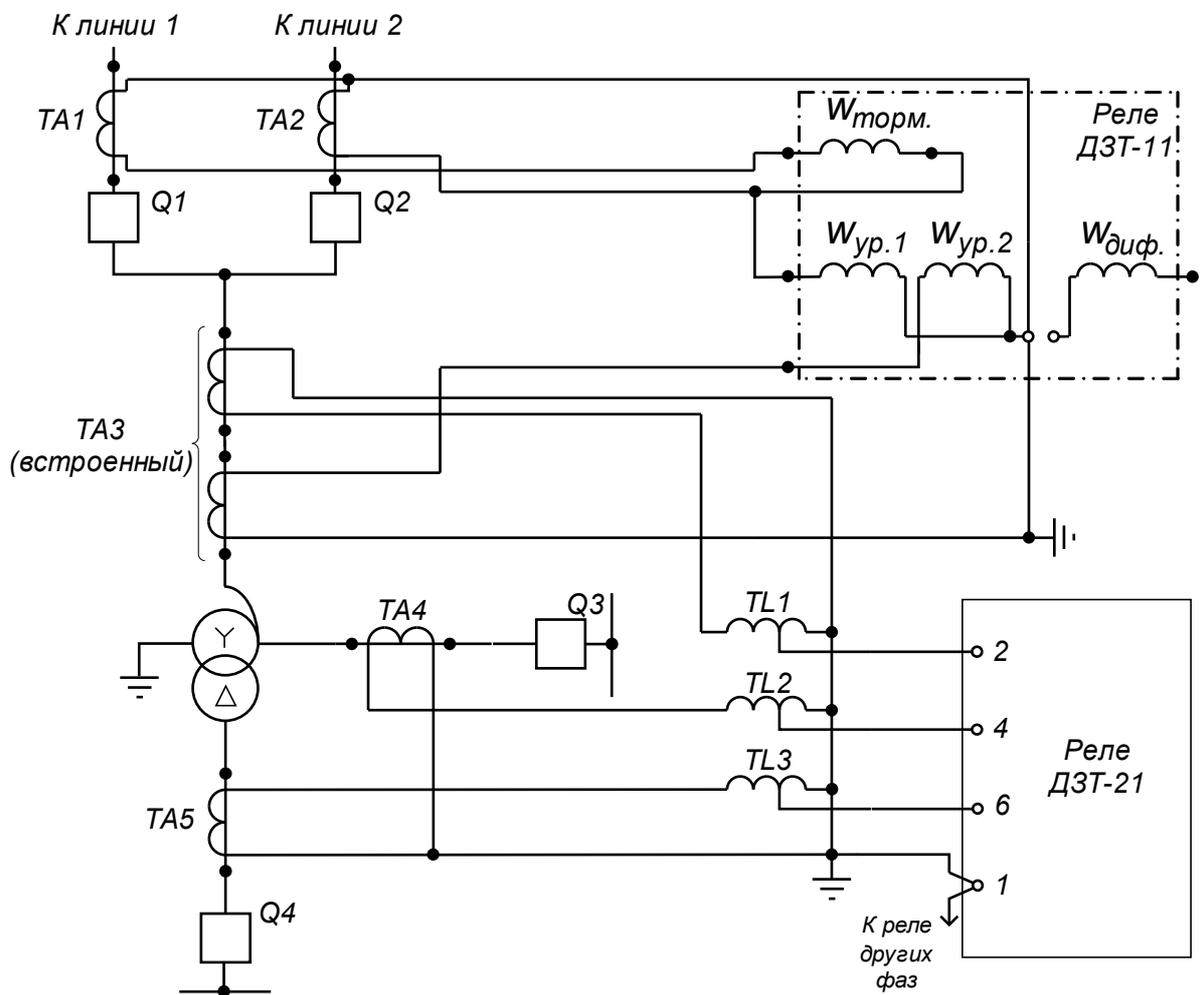


Рис. 15. Принципиальная схема выполнения дифференциальной защиты автотрансформатора (реле ДЗТ-21) и дифференциальной защиты ошиновки (реле ДЗТ-11).

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

Отстройка производится по формуле, аналогичной (92)

$$I_{с.з.} = k_n \cdot 4I_{нб.макс.}, \quad (118)$$

при этом k_n принимается равным 1,5.

Затем по (104) определяется ток срабатывания реле, по (106) и (107) – расчетное и установленное число витков уравнивательных 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 $k_{\text{ч}} \geq 1,5$.

5.3. Резервные защиты трансформаторов.

Алгоритм расчета защит аналогичен защитам линий, поэтому в методических 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

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

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

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

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

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 KI .

Ток срабатывания реле

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.}}{n_{TA}} \quad (122)$$

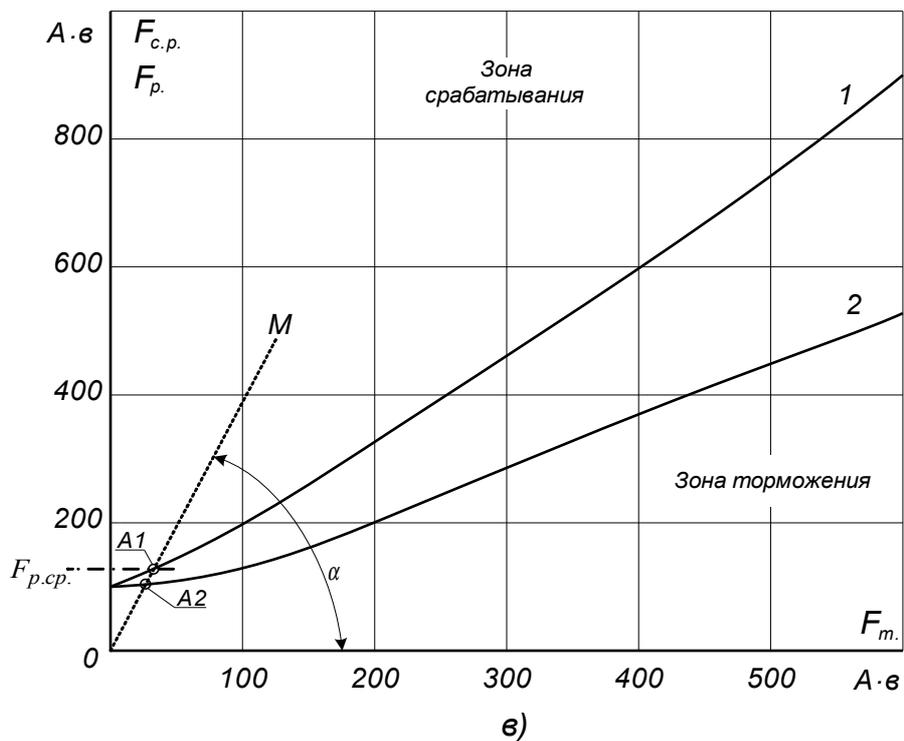
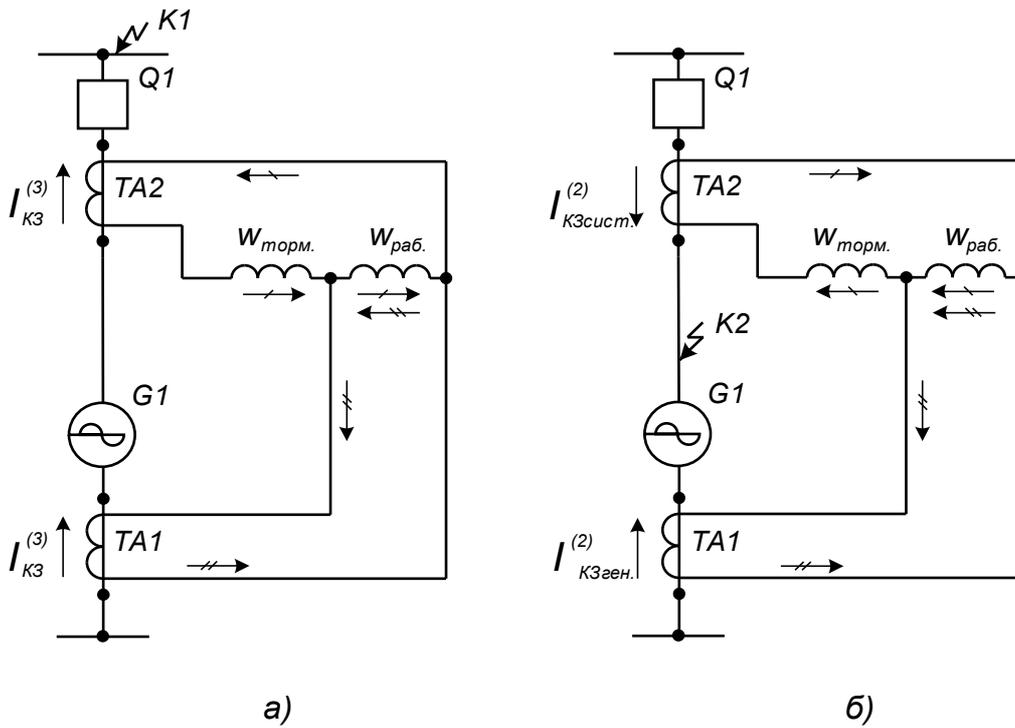


Рис. 16. Дифференциальная защита генератора с торможением:
 а – внешнее КЗ; б – КЗ в зоне действия защиты;
 в – тормозная характеристика реле ДЗТ-11/5.

Расчетная намагничивающая сила рабочей обмотки

$$F_{\text{раб.расч.}} = I_{\text{с.р.}} \cdot \psi w_{\text{раб.}}, \quad (123)$$

где $w_{\text{раб.}}$ – число витков рабочей обмотки реле. Для реле ДЗТ 11/5 $w_{\text{раб.}} = 144$ витка.

Тормозная намагничивающая сила

$$F_{\text{торм.}} = k_1 \psi \sqrt{\frac{F_{\text{раб.расч.}}}{100} \frac{\psi^2}{\psi} - 1}, \quad (124)$$

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:

$$k_{\psi} = \frac{F_{\text{р.}\Sigma}}{F_{\text{р.ср.}}}, \quad (127)$$

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):

$$F_{\text{р.}\Sigma} = \frac{\left(I_{\text{КЗсист.}}^{(2)} + I_{\text{КЗген.}}^{(2)} \right) \psi w_{\text{раб.}}}{n_{\text{ТА}}}, \quad (128)$$

$F_{\text{р.ср.}}$ – 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:

$$\alpha = \arctg \frac{F_{p.\Sigma}}{F_{\text{торм.КЗ}}}, \quad (129)$$

где $F_{\text{торм.КЗ}} = \left(I_{\text{КЗсист.}}^{(2)} \cdot \chi_{\text{Wторм.уст.}} / n_{\text{ТА}} \right)$. 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 $F_{p.cр.}$.

Чувствительность защиты при отсутствии торможения (генератор работает автономно):

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗген.}}^{(2)} \cdot \chi_{\text{Wраб.}}}{100 \chi n_{\text{ТА}}}, \quad (130)$$

где $I_{\text{КЗген.}}^{(2)}$ – 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:

$$n_{ТА} = \frac{600}{5} \cdot \frac{1500}{5} \quad (132)$$

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

$$I_{сз.1} = \frac{k_{\check{\check{I}}} \cdot I_C + k_{\check{\check{I}}} \cdot I_{нб.бл.перв.}}{k_{\check{\check{I}}}} \quad (135)$$

где $k_{\check{\check{I}}}$ – коэффициент возврата, принимаемый для реле РТЗ-50 равным 0,9 ;

$k_{\check{\check{I}}}$ – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока в установившемся режиме работы. При наличии выдержки времени 0,5-1с коэффициент $k_{\check{\check{I}}}$ принимается равным 2-3;

$k_{\check{\check{I}}}$ – 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

$$I_C = \sqrt{3} \omega C_2 U_H, \quad \text{А}, \quad (136)$$

где ω – угловая частота;

U_H – номинальное линейное напряжение, В;

C_2 – емкость одной фазы обмотки статора по отношению к земле. Для турбогенераторов

$$C_2 = \frac{k_1 \omega S}{1,2 \omega \sqrt{U_H} (1 + 0,08 U_H)}, \quad \text{мкФ/фазу}, \quad (137)$$

для гидрогенераторов

$$C_2 = \frac{k_2 \omega S^{3/4}}{3 \omega (U_H + 3600) n^{1/3}}, \quad \text{мкФ/фазу}, \quad (138)$$

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

$$I_{сз.1} = \frac{k_{\checkmark} I_C + k_{\checkmark} I_{нб.КЗ.перв.}}{k_{\checkmark}}, \quad (139)$$

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

$$I_{нб.нес.} = \frac{k \chi E_{нб.нес(ном.)}}{z_{э.нам.втор.} + z_p}, \quad (141)$$

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:

$$I_{бл.перв.} = \frac{k_n \chi I_{ном.з.}}{k_\beta} = 1,5 \chi I_{ном.з.} \quad (143)$$

Если блокировка защиты осуществляется от блокирующего реле, подключенного к специальной обмотке трансформатора тока нулевой последовательности, то коэффициент k определяется по формуле

$$k = \frac{\sqrt{3} \chi I_{бл.перв.}}{I_{ТНПном.}}. \quad (144)$$

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

$$I_{нб.втор.} = \frac{k \chi E_{нб.нес(ном.)}}{z_{э.нам.втор.} + z_p} + \frac{E_{нб.подм.}}{z_p}, \quad (147)$$

без подмагничивания

$$I_{нб.втор.} = \frac{k \chi E_{нб.нес(ном.)}}{z_p}, \quad (148)$$

За расчетное значение $I_{нб.втор.}$ принимается большее из полученных значений, которое приводится к первичной стороне по формуле

$$I_{нб.бл.перв.} = I_{нб.втор.} \chi_2 \chi_{wв}. \quad (149)$$

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

$$I_{нб.бл.перв.} = \frac{I_{нб.втор.} \chi_{wв}}{1 + \frac{z_p}{z_{э.нам.втор.}}}. \quad (150)$$

Выдержка времени первой ступени защиты

$$t_1 = 0,5 - 1 \text{ с}, \quad (151)$$

**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

$$I_{сз.1} = k_{\checkmark} \checkmark I_C + k_{\checkmark} \checkmark I_{нб.КЗ.внеш.} \quad (152)$$

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 распределителей 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.

Токсовая 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;

$$I_{\text{пуск.}} = k_n \psi I_{\text{ном.}}, \quad (154)$$

где k_n – кратность пускового тока, принимаемая из справочников.

Ток срабатывания реле

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.ТО}}}{n_{\text{ТА}}}. \quad (155)$$

Чувствительность защиты

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин.}}^{(2)}}{I_{\text{с.ТО}}}, \quad (156)$$

где $I_{\text{к.мин.}}^{(2)}$ – 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

$$I_{\text{с.з.}} = k_n \psi I_{\text{нб.макс.}}, \quad (157)$$

где k_n – коэффициент надежности, равный 1,5 - 2,0;

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

$$I_{\text{нб.макс.}} = k_a \psi k_{\text{одн.}} \psi \epsilon \psi I_{\text{пуск.}}, \quad (158)$$

где k_a , $k_{\text{одн.}}$, ϵ определяются аналогично (95);

$I_{\text{пуск.}}$ – максимальный пусковой ток двигателя:

$$I_{\text{пуск.}} = k_{\text{пуск.}} \psi I_{\text{ном.}}, \quad (159)$$

где $k_{\text{пуск.}}$ – кратность пускового тока (приводится в справочниках);

$I_{\text{ном.}}$ – номинальный ток двигателя.

Ток срабатывания реле

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}}{n_{ТА}}. \quad (160)$$

Чувствительность защиты

$$k_{ч} = \frac{I_{к.мин.}}{I_{с.з.}}, \quad (161)$$

где $I_{к.мин.}$ – ток двухфазного КЗ на выводах двигателя.

При выполнении защиты с использованием дифференциальных реле ток срабатывания защиты определяется по формуле

$$I_{с.з.} = (0,6 - 0,7) \chi I_{ном.}. \quad (162)$$

Число витков дифференциальной обмотки реле

$$w_{д.расч.} = \frac{F_{с.р.}}{(I_{с.з.}/n_{ТА})}, \quad (163)$$

где $F_{с.р.}$ – 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?

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 энергетика. Студенты могут записать их на свои носители.

2.1.8. Методические указания по выполнению лабораторных работ

Изложены 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.

Учебное пособие есть в библиотеке энергетического факультета; кроме того, электронный вариант пособия включен в электронную библиотеку кафедры энергетики. Студенты могут записать его на свои носители.

При выполнении цикла работ в восьмом семестре рекомендуется использовать при подготовке книгу *Барзам А.Б., Пояркова Т.М.* Лабораторные работы по релейной защите и автоматике. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 256 с., имеющуюся в библиотеке энергетического факультета.

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 энергетики. Студенты могут записать его на свои носители.

2.1.10. Методические указания к выполнению контрольных работ

Выполнение контрольных работ по данной дисциплине не запланировано

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.

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
Лабораторная работа 1. Комплектное переносное испытательное устройство	5
Лабораторная работа 2. Электромагнитные реле переменного тока и напряжения	14
Лабораторная работа 3. Индукционные реле тока	25
Лабораторная работа 4. Электромагнитные вспомогательные реле: времени, промежуточные, указательные	32
Лабораторная работа 5. Индукционное реле направления мощности	49
Лабораторная работа 6. Газовые реле	61
Лабораторная работа 7. Дифференциальное токовое реле с промежуточным быстронасыщающимся трансформатором	70
Лабораторная работа 8. Дифференциальное токовое реле с магнитным торможением	77

Учебное пособие есть в библиотеке энергетического факультета; кроме того, электронный вариант пособия включен в электронную библиотеку кафедры энергетики. Студенты могут записать его на свои носители.

Для лабораторных работ по второй части курса рекомендуется использовать книгу: *Барзам А.Б., Пояркова Т.М.* Лабораторные работы по релейной защите и автоматике. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 256 с., имеющуюся в библиотеке энергетического факультета.

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 и контрольные вопросы к зачету.

Билеты для экзамена по первой части курса:

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

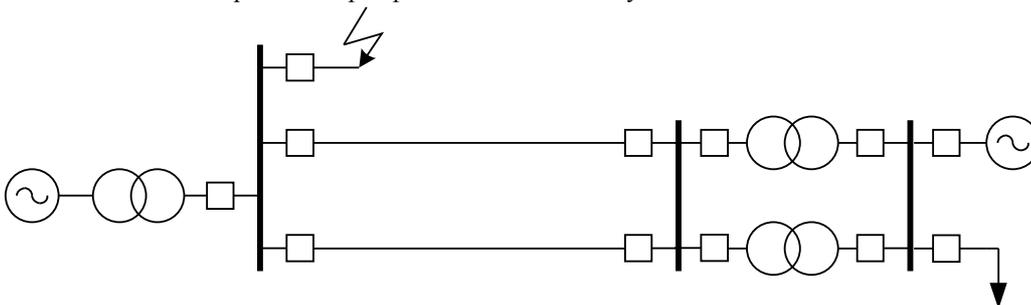
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140203*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Особенности работы токовых защит в кольцевых сетях
2. Способы устранения вибрации электромагнитных реле, работающих на переменном токе

3. 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

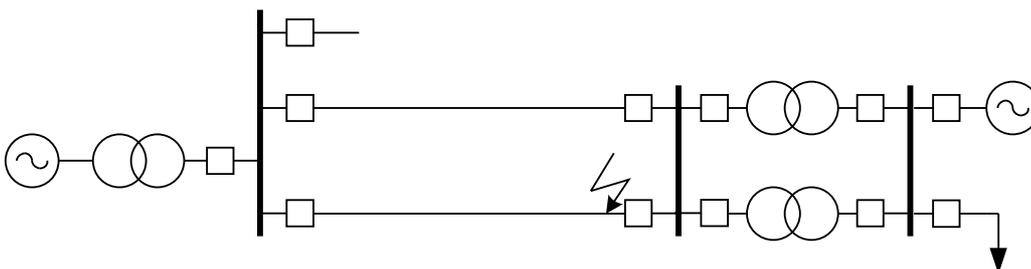
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра энергетики
Факультет энергетический
Курс четвертый, 140203
Дисциплина: Релейная защита электрических систем

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

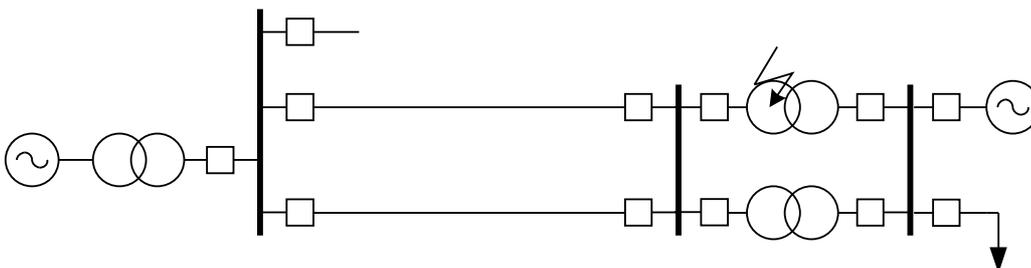
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра энергетики
Факультет энергетический
Курс четвертый, 140203
Дисциплина: Релейная защита электрических систем

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

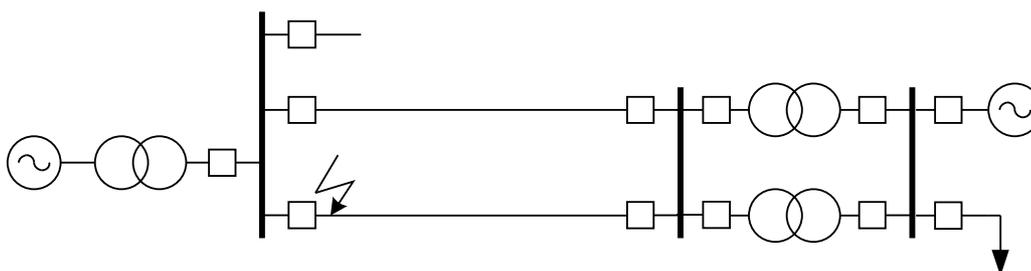
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140203*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1. Схемы МТЗ на постоянном и переменном оперативном токе
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

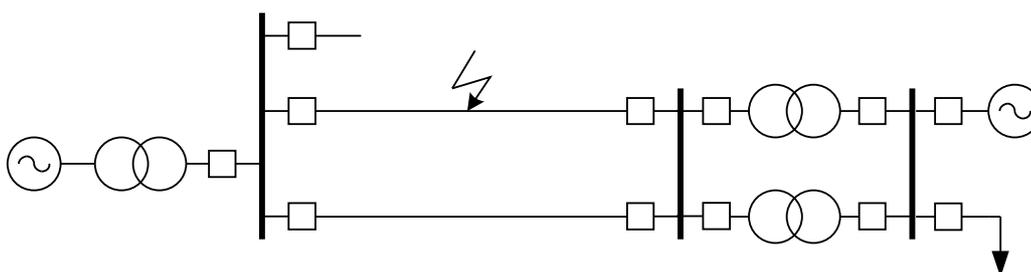
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140203*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

1. Фильтр тока обратной последовательности
2. УРОВ – 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

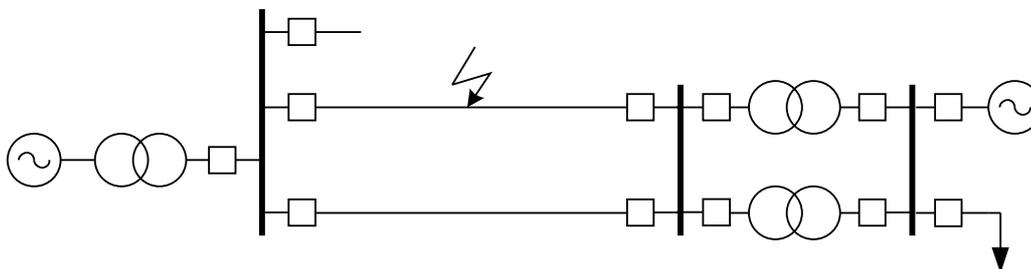
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140203*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

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 повреждения отказал выключатель на приемной стороне линии. Какие защиты сработали в начале аварии? Какие - на второй стадии? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

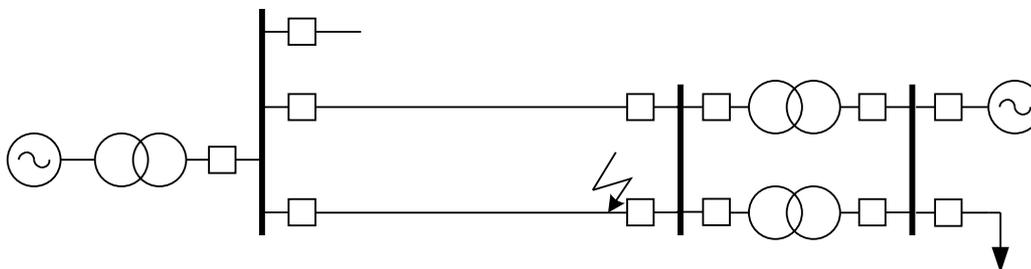
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140203*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

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

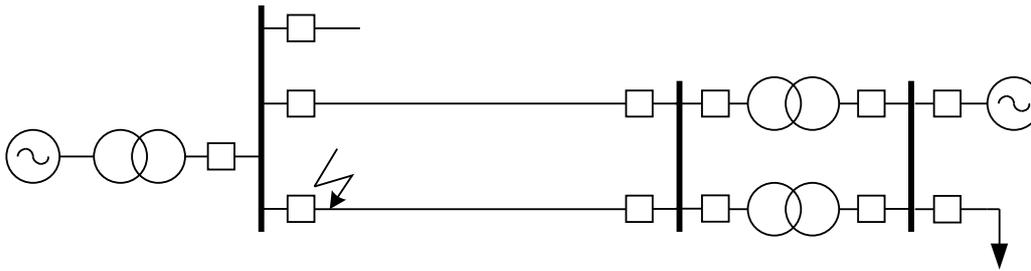
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140203*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

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

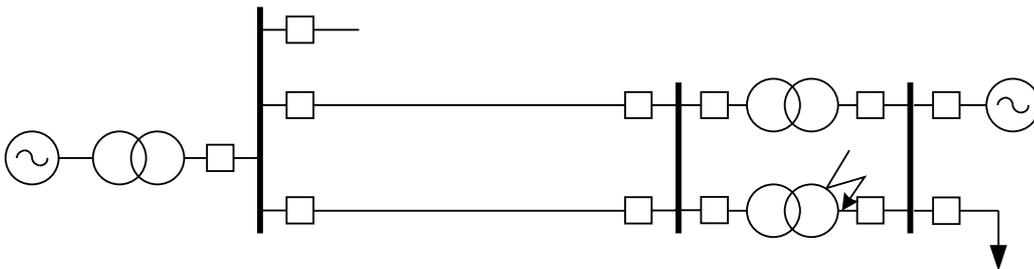
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140203*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

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 зафиксировывают повреждение? Каков порядок отключения выключателей? Ответ обоснуйте.



АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

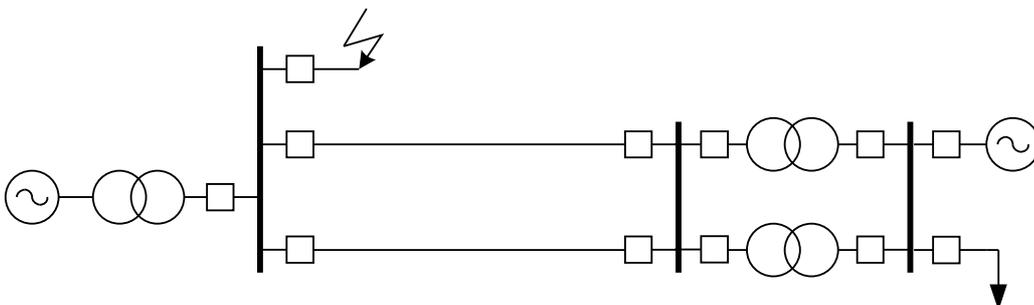
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140203*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

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

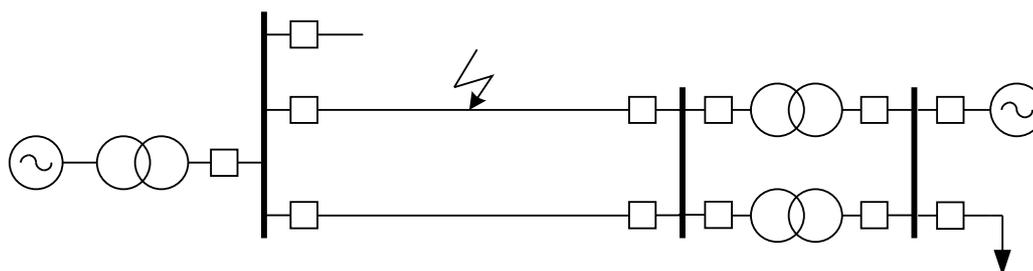
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140203*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

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

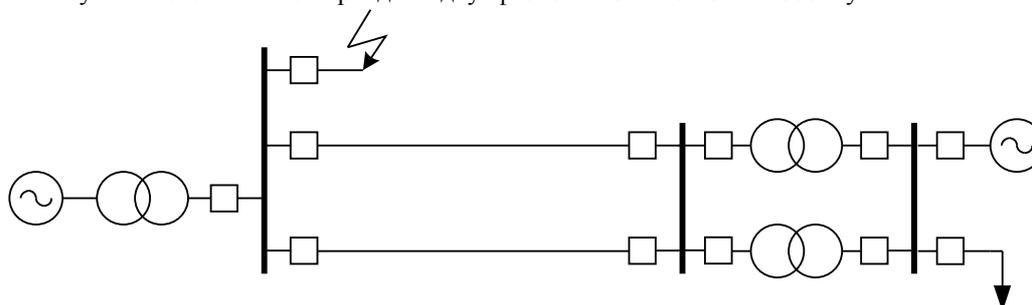
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140203*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

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

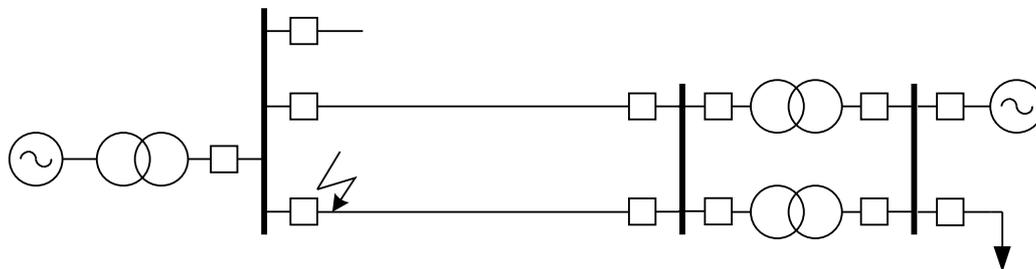
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140203*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

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

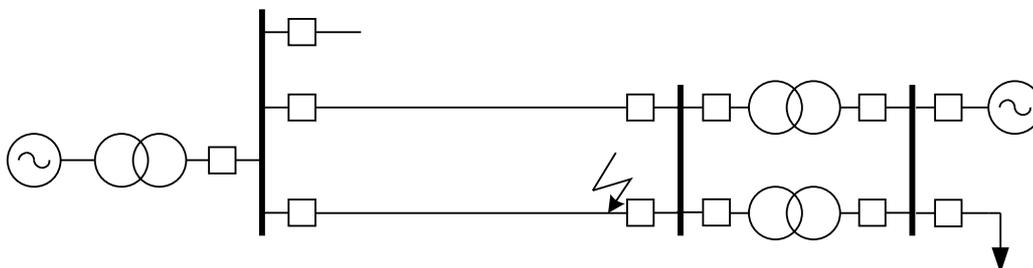
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140203*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

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

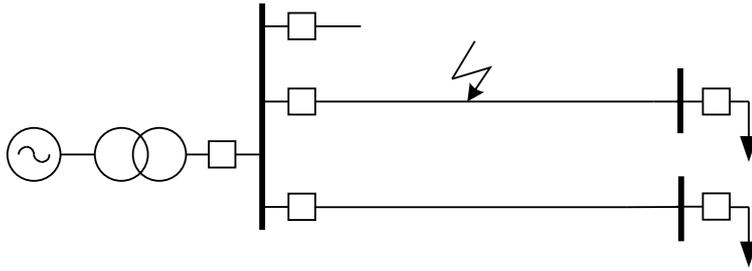
Утверждено на заседании кафедры
« 18 » декабря 2006 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый, 140203*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

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.



Билеты для экзамена по второй части курса:

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Повреждения и ненормальные режимы синхронных генераторов
2. Особенности выполнения защит трансформаторов, не имеющих выключателей со стороны питания
3. МТЗ нулевой последовательности с ВЧ блокировкой

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. Изменение токов КЗ в зависимости от места повреждения в обмотке статора генератора
2. Реле, используемые в дифференциальной защите трансформатора
3. Дистанционная защита в сетях с изолированной нейтралью

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

1. Защиты от витковых замыканий в обмотке статора
2. Схемы включения тормозной обмотки на трансформаторах различной конструкции
3. Контроль исправности ВЧ канала

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1. Продольная дифференциальная защита статора синхронного генератора
2. Защиты трансформатора на переменном оперативном токе
3. Защита от замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

1. Варианты выполнения поперечной дифференциальной защиты генератора
2. Резервные защиты силовых трансформаторов
3. МТЗ с зависимой от тока выдержкой времени в сетях с изолированной нейтралью

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

1. Замыкания на землю (корпус) обмотки статора и защита от них
2. Дифференциальная защита ошиновки силового трансформатора
3. Токовые отсечки в сетях с изолированной нейтралью

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

1. Защита от замыканий на землю генераторов блоков
2. Дистанционная защита с ВЧ блокировкой
3. Принципы выполнения защит ВЛ 6-10 кВ (с изолированной нейтралью)

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой

Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

1. Защита от замыканий на землю генераторов, работающих на сборные шины генераторного напряжения
2. ВЧ пост - структура
3. Дистанционная защита с зависимой выдержкой времени

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

1. Защита ротора от замыканий на корпус в одной точке обмотки возбуждения
2. МТЗ на линиях с изолированной нейтралью
3. Защита шин – принципы выполнения

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

1. Защита ротора от замыканий на корпус во второй точке обмотки возбуждения
2. Дифференциальная защита трансформатора на время-импульсном принципе
3. МТЗ с зависимой от тока выдержкой времени

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11

1. Резервные защиты генератора
2. Защита силовых трансформаторов от однофазных КЗ
3. МТЗ нулевой последовательности с ВЧ блокировкой

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12

1. Повреждения и ненормальные режимы силовых трансформаторов
2. Качания генераторов и отстройка защиты от этого режима
3. Контроль исправности ВЧ канала

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13

1. Газовая защита трансформатора
2. Дифференциальная защита трансформатора на время-импульсном принципе
3. Изменение токов КЗ в статоре генератора в зависимости от места повреждения

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14

1. Особенности выполнения продольной дифференциальной защиты трансформатора
2. Резервные защиты генератора
3. Дифференциально-фазная ВЧ защита ЛЭП СВН

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
« 04 » июня 2004 года
Заведующий кафедрой
Утверждаю: _____

Кафедра *энергетики*
Факультет *энергетический*
Курс *четвертый*
Дисциплина: *Релейная защита электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 15

1. Дифференциальная защита шин
2. Схемы включения тормозных обмоток в дифференциальной защите трансформатора
3. Качания генераторов и отстройка защит от этого режима.

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