

Федеральное агентство по образованию
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОУВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой Энергетики

_____ Н.В. Савина

«_____» _____ 2007г.

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И
АВТОМАТИКИ ЭНЕРГОСИСТЕМ
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

для специальности 140203 – Релейная защита и автоматизация
электроэнергетических систем.

Составитель: доц. А.Г. Ротачева

Благовещенск 2007 г.

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

А.Г. Ротачева

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Основы проектирования релейной защиты и автоматики» для студентов очной формы обучения специальности 140203 – Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем. - Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007. – 107с.

Учебно-методические рекомендации ориентированы на оказание помощи студентам очной формы обучения по специальности 140203 «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» для формирования фундаментальных знаний обо всех разделах энергетики и их взаимосвязях в проектировании релейной защиты и автоматики.

Рецензент:

© Амурский государственный университет, 2007

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Рабочая программа дисциплины	6
2. Краткий конспект лекций	17
3. Методические рекомендации по проведению лабораторных работ	91
4. Самостоятельная работа студентов	92
4.1. Методические указания по проведению самостоятельной работе студентов	92
4.2. График самостоятельной учебной работы студентов	94
4.3 Методические указания по выполнению домашнего задания	97
4.4 Комплекты домашних заданий	97
5. Методические указания по проведению информационных технологий	99
6. Программные продукты, реально используемые в практической деятельности выпускника	100
7. Материалы по контролю качества образования	101
7.1. Методические указания по организации контроля знаний студентов	101
7.2. Фонд заданий для проведения блиц-опроса	101
7.3. Итоговый контроль	103
8. Карта обеспеченности дисциплины профессорско-преподавательского состава	106
Заключение	107

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Основы проектирования релейной защиты и автоматики» относится к блоку СД, является специальной дисциплиной.

Курс «Основы проектирования релейной защиты и автоматики» является одной из важнейшей дисциплины по специальности. Дисциплина «Основы проектирования релейной защиты и автоматики» занимает важное место в учебном процессе. В этом общеэнергетическом курсе студент получает знания по дисциплинам включающие вопросы целей, задач, структур релейной защиты и автоматики, основные нормативно-технические принципы наладки и эксплуатации релейной защиты и автоматики станций и подстанций.

В данном учебно-методическом комплексе отражены следующие вопросы: соответствие дисциплины «Основы проектирования релейной защиты и автоматики» по стандарту; показана рабочая программа дисциплины; подробно описан график самостоятельной учебной работы студентов по дисциплине на каждый семестр с указанием ее содержания, объема в часах, сроков и форм контроля; расписаны методические указания по проведению самостоятельной работы студентов; предложен краткий конспект лекций по данному курсу; лабораторные работы; методические рекомендации по выполнению домашних занятий; показан перечень программных продуктов, реально используемых в практике деятельности студентов; методические указания по применению современных информационных технологий для преподавания учебной дисциплины; методические указания профессорско-преподавательскому составу по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний студентов; комплекты заданий для домашних заданий; фонд тестовых заданий для оценки качества знаний по дисциплине; контрольные вопросы к зачету; карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава.

1. Рабочая программа дисциплины

Рабочая программа по дисциплине «Основы проектирования релейной защиты и автоматики» составлена на основании Государственного образовательного стандарта ВПО по направлению подготовки дипломированного специалиста 650900 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА специальности 140203 – Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем.

**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 «Наладка и эксплуатация устройств релейной защиты и
автоматики»

Для специальности 140203 – Релейная защита и автоматизация
электроэнергетических систем.

курс *четвертый*

семестр - 9

Лекции *28 часов*

зачет – *9 семестр*

Лабораторные занятия – *6 часов*

Практика - *8 часов*

Самостоятельная работа – *58 часов*

Всего часов – *100 часа*

Составитель *Ротачева А.Г., доцент*

Факультет *энергетический*

Кафедра *Энергетики*

2006 г.

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению 650900 «Электроэнергетика». В рамках данного направления на кафедре Энергетики реализуется подготовка дипломированных специалистов по специальности 140203 – «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры энергетики
«_____» _____ 200__ г., протокол № _____

Заведующий кафедрой _____ Н.В. Савина

Рабочая программа одобрена на заседании УМС специальности: 140203

«_____» _____ 200__ г., протокол № _____

Председатель УМСС _____

СОГЛАСОВАНО

Начальник УМУ

_____ Г.Н.Торопчина

«_____» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель УМС факультета

«_____» _____ 200__ г.

СОГЛАСОВАНО

Заведующий выпускающей кафедрой

_____ «_____» _____ 200__ г.

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Согласно Государственному образовательному стандарту курс «Основы проектирования релейной защиты и автоматики» должен изучаться на базе освоенного ранее курса: «Релейная защита электроэнергетических систем».

Целью данного курса является изучение принципов построения схем релейной защиты и автоматики, схем управления электрооборудованием, назначения и устройства составных элементов вторичных цепей.

Задачи изучения дисциплины является ознакомление проектированием релейной защиты, автоматики и телемеханики как комплекс новой системы управления электроэнергетическими объектами, методика проектирования. система автоматизированного проектирования, методы обеспечения требуемых показателей технического совершенства и надежности функционирования релейной защиты и автоматики.

Перечень дисциплин, освоение которых необходимо при изучении данной дисциплины - Математика: графы, теория алгоритмов, языки и грамматики, автоматы, комбинаторика; модели случайных процессов и величин, проверка гипотез, принцип максимального правдоподобия, статистические методы обработки экспериментальных данных; Информатика: общая характеристика процессов сбора, передачи, обработки и накопления информации; технические и программные средства реализации информационных процессов; модели решения функциональных и вычислительных задач; компьютерная графика; электромеханика: типы электрических машин и других электромеханических преобразователей; трансформаторы; автотрансформаторы; режимы работы трансформаторов; принцип, режим работы, конструкции и характеристики синхронных и асинхронных машин и машин постоянного тока; электроэнергетика: электрическую часть станций и подстанций, передача и распределение электроэнергии.

Содержание дисциплины

2.1. Федеральный компонент

СД.05 Основы проектирования релейной защиты и автоматики энергосистем: содержание основных этапов проектирования. Блок дисциплин включает вопросы целей, задач, структур и организации наладки систем и устройств релейной защиты и автоматизации, основные нормативно-технические принципы и документация по системам в целом и конкретному электрооборудованию.

Согласно *Государственному образовательному стандарту ВПО по направлению подготовки дипломированного специалиста 650900 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА специальности 140203 – «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем»* основная образовательная

программа подготовки инженера состоит из дисциплин федерального компонента, дисциплин национально-регионального (вузовского) компонента, дисциплин по выбору студента, а также *факультативных дисциплин*. Дисциплины вузовского компонента и по выбору студента в каждом цикле должны содержательно дополнять дисциплины, указанные в федеральном компоненте цикла.

Принцип построения курса.

В лекционном курсе на основе полученных ранее знаний формулируются основные требования к построению схем защиты, вторичных цепей, монтажных схем, их *структура, устройство и назначение элементов*.

Знания и умения студента.

При изучении курса студент должен владеть и иметь представление:

- об основах инженерной и компьютерной графики;
- о структуре систем автоматизированного проектирования релейной защиты и автоматики энергообъектов;
- о современной и перспективной элементной базе устройств релейной защиты, автоматики и технических средств сбора передачи, об работы и отображения оперативно-диспетчерской информации.

Знать и уметь использовать:

- правила построения и чтения чертежей и схем, а также основы компьютерной графики;
 - основные законы электротехники при решении задач проектирования и анализа релейной защиты и автоматики энергообъектов;
 - технологические и режимные характеристики автоматизируемых энергообъектов при проектировании системы релейной защиты и автоматики;
 - основы теории релейной защиты и автоматизации энергосистем при проектировании, исследовании и эксплуатации устройств и систем релейной защиты и автоматики;
- иметь навыки;
- построения изображений технических изделий, оформления чертежей и электрических схем и составления спецификаций;
 - оформления проектной документации;
 - выбрать принципы построения системы основных и резервных защит элементов электроэнергетической системы и оценить возможность реализации системы защит на основе типовых комплектов устройств релейной защиты;
 - осуществить “привязку” типовых схем систем управления к конкретному объекту управления.

2.2. Наименование тем, их содержание, объем в лекционных часах

Курс состоит из лекционной части и практических работ. На практических работах закрепляются знания, полученные на лекциях, при самостоятельной работе с литературой и при прохождении производственной практики.

ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС (28час).

1. Структура и классификация устройств релейной защиты. Требования, учитываемые при проектировании защит. основного оборудования. Исходные данные для проектирования. Исходные данные для проектирования.

Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования. Состав применяемых защит. Максимальные токовые защиты от междуфазных повреждений. МТЗ линий с односторонним питанием. МТЗ от междуфазных повреждений. Ненаправленные токовые отсечки линий с 2-х сторонним питанием. Максимальная токовая защита от замыканий на землю.

2. Поперечная дифференциальная токовая защита. Дистанционная защита от междуфазных повреждений. Дистанционная защита. Расчет уставок блокировки при качаниях. Поперечная дифференциальная направленная защита параллельных линий. Расчет комплекта защиты от междуфазных повреждений. Дифференциально-фазная высокочастотная защита. Расчет пусковых органов при симметричных повреждениях. Дифференциально-фазная высокочастотная защита. Расчет пусковых органов при несимметричных повреждениях.

3. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типов РНТ-560 и ДЗТ-11. МТЗ от замыканий на землю. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типа ДЗТ-20. Основные характеристики защиты и реле. МТЗ от замыканий на землю. Расчет от броска намагничивающего тока. Максимальная токовая защита от междуфазных повреждений силового трансформатора. Комплектные защиты от всех видов повреждений. Общие замечания и требования. Дистанционная защита автотрансформаторов. Максимальная токовая защита от замыканий на землю автотрансформатора. Расчет комплекта защиты от замыканий на землю. Максимальная токовая защита от замыканий на землю.

4. Максимальная токовая защита с комбинированным пуском по напряжению генераторов, работающих на сборные шины. Продольная дифференциальная токовая защита от междуфазных повреждений в обмотке статора.

Максимальная токовая защита обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных к.з. генераторов, работающих на сборные шины. МТЗ от замыканий на землю. Расчет уставок срабатывания. Продольные дифференциальные токовые защиты блока генератор- трансформатор.

5. Основные защиты блока не требующие специального расчета уставок. Резервные защиты блока. Основные условия выполнения защит. Максимальная токовая защита обратной последовательности с независимыми выдержками времени. Максимальная токовая защита от замыканий на землю.

6. Обозначение элементов в электрических схемах. Общие положения. Условные обозначения проектных функциональных групп и кабельных линий. Условные позиционные обозначения элементов вторичных цепей. Обозначение

вторичных цепей. Схемы вторичных цепей. Назначение вторичных цепей. Токовые цепи. Цепи напряжения. Цепи оперативного тока. Источники питания оперативного тока. Применение источников оперативного тока. Источники постоянного тока. Устройства выпрямленного тока. Питание оперативных цепей переменным током. Аппаратура вторичных устройств. Аппаратура управления и сигнализации. Приборы защиты и измерения. Контактная аппаратура. Размещение аппаратуры вторичных устройств на панелях. Конструкции и типы панелей. Ряды зажимов на комплектных устройствах. Монтажные схемы комплектных устройств.

7. Оперативные пункты управления (ОПУ). Общая часть. ОПУ на ТЭС. ОПУ на ГЭС. ОПУ на АЭС. ОПУ на подстанциях. Схемы распределения оперативного тока. Схемы управления и сигнализации в электроустановках. Схемы управления масляных, вакуумных, элегазовых и воздушных выключателей. Схемы управления разъединителей, отделителей, короткозамыкателей. Избирательные схемы управления. Схемы аварийной и предупреждающей сигнализации.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (8 часов)

1. Изучение схем управления масляных, вакуумных, элегазовых и воздушных выключателей - 2 часа
2. Выбор панелей и шкафов релейной защиты и автоматики - 2 часа
3. Расчет релейной защиты и автоматики линий 10-500 кВ - 4 часа

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (6 часов)

1. Расчет релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов - 2 часа
2. Расчет релейной защиты и автоматики генераторов - 2 часа
3. Расчет релейной защиты и автоматики электродвигателей - 2 часа

2.4. Самостоятельная работа студентов

Включает в себя самостоятельную проработку лекционного материала, подготовку к практическим работам.

Условные обозначения вторичных сетей. Назначение вторичных цепей. Токовые цепи и цепи напряжения. Цепи оперативного тока. Источники оперативного тока. Источники постоянного тока. Применение источников оперативного тока. Устройство выпрямленного тока. Питание оперативных цепей переменным током. Конструкции и типы панелей. Монтажные схемы комплектных устройств. Схемы управления и сигнализации в электроустановках. Схемы управления масляных выключателей. Схемы управления воздушных выключателей. Избирательные схемы управления. Схемы аварийной и предупредительной сигнализации. Схемы дистанционной

защиты ЭПЗ-1636. Схемы дистанционной защиты шкафов ШДЭ 2801-2802. ПДЭ.

2.5. Вопросы к экзамену

1. Структура и классификация устройств релейной защиты.
 2. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования.
 3. Требования, учитываемые при проектировании защит.
 4. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования. Исходные данные для проектирования.
 5. Исходные данные для проектирования.
 6. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования. Состав применяемых защит.
 7. Максимальные токовые защиты от междуфазных повреждений. МТЗ линий с односторонним питанием.
 8. Продольная дифференциальная токовая защита от междуфазных повреждений в обмотке статора.
 9. МТЗ от междуфазных повреждений. Ненаправленные токовые отсечки линий с 2-х сторонним питанием.
 10. Поперечная дифференциальная токовая защита
 11. Дистанционная защита от междуфазных повреждений. Расчет уставок срабатывания.
 12. Дистанционная защита. Расчет уставок блокировки при качаниях.
 13. Максимальная токовая защита с комбинированным пуском по напряжению генераторов, работающих на сборные шины.
 14. Максимальная токовая защита от замыканий на землю. Расчет уставок срабатывания.
 15. Максимальная токовая защита обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных к.з. генераторов, работающих на сборные шины.
 16. МТЗ от замыканий на землю. Расчет уставок срабатывания.
 17. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типов РНТ-560 и ДЗТ-11.
 18. МТЗ от замыканий на землю.
 19. Расчет уставок защиты при параллельных линиях.
 20. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типа ДЗТ-20.
- Основные характеристики защиты и реле
21. МТЗ от замыканий на землю. Расчет от броска намагничивающего тока.
 22. Максимальная токовая защита от междуфазных повреждений силового трансформатора.
 23. Комплектные защиты от всех видов повреждений. Общие замечания и требования.

24. Дистанционная защита автотрансформаторов.
25. Поперечная дифференциальная направленная защита параллельных линий.
26. Расчет комплекта защиты от замыканий на землю.
27. Максимальная токовая защита от замыканий на землю автотрансформатора.
28. Поперечная дифференциальная направленная защита параллельных линий.
29. Расчет комплекта защиты от междуфазных повреждений.
30. Продольные дифференциальные токовые защиты блока генератор-трансформатор.
31. Дифференциально-фазная высокочастотная защита. Расчет пусковых органов при симметричных повреждениях.
32. Основные защиты блока не требующие специального расчета уставок.
33. Дифференциально-фазная высокочастотная защита. Расчет пусковых органов при несимметричных повреждениях.
34. Резервные защиты блока. Основные условия выполнения защит. Максимальная токовая защита обратной последовательности с независимыми выдержками времени.
35. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования.
36. Резервные защиты блока. Максимальная токовая защита от замыканий на землю.

3. Учебно-методические материалы по дисциплине

Основная литература.

1. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоиздат, 2002. - 648 с.
2. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие.- М.: Издательство МЭИ, 2000.- 248с.
3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с.
4. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.

Дополнительная литература.

1. Этус Н.Г., Махлина Л.Н. «Технология электромонтажных работ на электростанциях и подстанциях» - М.: Энергоатомиздат, 1982.- 568 с.
2. Лезнов С.И., Махлина Л.Н. «Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок» - М.: Энергоатомиздат, 1986.- 152 с.
3. Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита электрических систем. - М.: Энергоатомиздат, 1992. – 346 с.
4. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита электроэнергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1998, - 800 с.
5. Окин А.А. Противоаварийная автоматика. – М.: Издательство МЭИ, 1995. – 206 с.

6. Электротехнический справочник: В 3-х т. Т. 3, Под общ. ред. В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. - М.: Энергоиздат, 2000.- 656 с.

Задания для самостоятельной работы студентов.

В процессе изучения дисциплины (после каждого практического занятия и лабораторного занятия) студенты последовательно разрабатывают предложенные преподавателем вопросы к самостоятельной работе и защищают их согласно графику, указанному в учебно-методической (технологической) карте дисциплины.

4. Учебно-методическая (технологическая) карта дисциплины.

Номер недели	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые нагляд. и метод. пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля	
			практич. (семина.)	лаборат.		содерж.			
1	2	3	4	5	6	7	1	2	
1	1	Структура и классификация устройств релейной защиты		-	Фильмы по курсу	Токовые цепи и цепи напряжения.	1	1	
2	1	Состав применяемых защит	1	-	Схемы по РЗА	Цепи оперативного тока.	2	1	
3	2	Поперечная дифференциальная токовая защита		-	Схемы по РЗА	Источники оперативного тока.	3	2	
4	2	Схемы вторичных цепей. Назначение вторичных цепей.	2	-	Схемы по РЗА	Источники постоянного тока.	4	2	
5	2	Дифференциально-фазная высокочастотная защита.		-	Схемы по РЗА	Устройство выпрямленного тока.	5	2	
6	3	Продольная дифференциальная токовая защита с реле типа ДЗТ-20	3	-	Схемы по РЗА	Конструкции и типы панелей.	6	3	
7	3	Дистанционная защита автотрансформаторов		-	Схемы по РЗА	Монтажные схемы комплектных устройств.	7	3	
8	4	Максимальная токовая защита обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных к.з. генераторов, работающих на сборные шины.	3	-	Схемы по РЗА	Схемы управления и сигнализации в электроустановках.	8	4	
9	4	Расчет уставок Продольные токовые защиты трансформатор.		-	Схемы по РЗА	Схемы аварийной и предупредительной сигнализации.	9	4	
10	5	Основные защиты блока не требующие специального расчета уставок		1	Схемы по РЗА	Схемы дистанционной защиты ЭПЗ-1636.	10	5	
11	5	Максимальная токовая защита обратной последовательности с независимыми выдержками времени.		-	Схемы по РЗА	Схемы дистанционной защиты ЭПЗ-1636.	11	5	
12	6	Приборы защиты и		2	Схемы по РЗА	АПВ	12	6	

		измерения. Контактная аппаратура. Размещение аппаратуры вторичных устройств на панелях.						
13	6	Конструкции и типы панелей. Монтажные схемы комплектных устройств		-	Схемы по РЗА	АВР	13	6
14	7	.Оперативные пункты управления (ОПУ). Общая часть. ОПУ на ТЭС. ОПУ на ГЭС. ОПУ на АЭС. ОПУ на подстанциях.		3	Схемы.эл.вар.	АРВ	14	7

2. Краткий конспект лекций

Лекция 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЛЕНОЙ ЗАЩИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

1. Структура устройств релейной защиты

Несмотря на разнообразие в схемах и устройствах релейной защиты по назначению и виду параметра, на который реагирует защита, все они имеют общую структуру и содержат много сходных элементов и узлов. Основными элементами общей структурной схемы (рис. 1.1) являются:

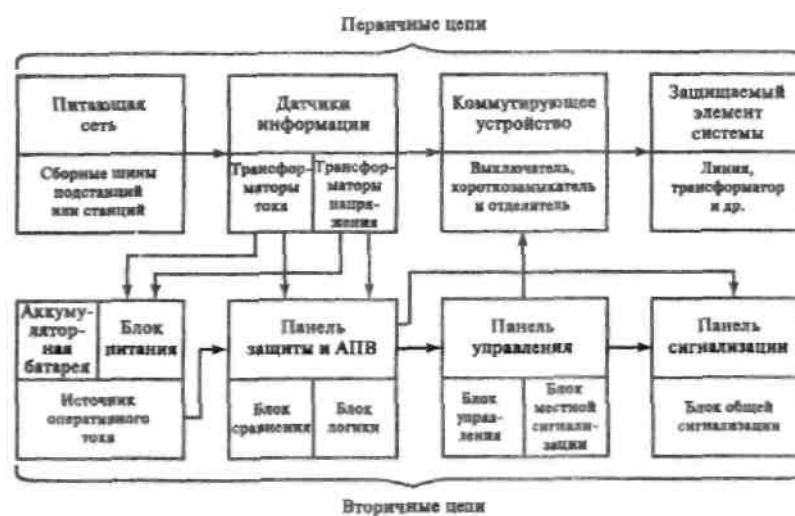


Рис. 1.1. Структурная схема устройства релейной защиты

1) источники постоянного и переменного оперативного тока. К первым относятся аккумуляторные батареи 12—220 В, ко вторым — трансформаторы тока или напряжения, блоки питания, зарядные устройства;

2) датчики информации: трансформаторы тока и напряжения, устройства емкостного отбора напряжения, контакты сигнализации положения коммутационной аппаратуры (выключателей, разъединителей и т.п.);

3) блоки сравнения и логики конструктивно размещаются на панели защиты данного присоединения. К блокам сравнения относятся максимальные и минимальные реле тока или напряжения, реле сопротивления и т.п. Блоки логики содержат реле времени, промежуточные реле, устройства АПВ, АВР;

4) блоки управления и местной сигнализации конструктивно размещаются

на панели управления данного присоединения. Это ключи управления, сигнальные лампы контроля положения выключателей, сигнализаторы положения разъединителей, сигнальные табло и измерительные приборы;

5) блок общей сигнализации содержит устройство мигающего света, реле звуковой сигнализации, звонок, сирену и сигнальные табло.

Как видно из рис. 1.1, непосредственное управление выключателем и контроль за его положением осуществляется с панели управления. При возникновении КЗ на защищаемом объекте увеличивается ток через трансформаторы тока, снижается напряжение на шинах, уменьшается сопротивление сети, появляется несимметрия в трехфазной системе — токи и напряжения обратной и нулевой последовательностей. Различные устройства защиты реагируют на параметры I , U , z , I_2 , I_0 , U_0 и их комбинации, включая производные. С помощью трансформаторов тока и напряжения эта информация передается по кабелям на панель защиты. В блоке сравнения в зависимости от соотношения входного сигнала и заданных уставок срабатывают соответствующие пусковые реле и включаются реле блока логики, который с необходимой выдержкой времени посылает импульс на отключение выключателя (через панель управления). После отключения выключателя на панели управления начинает мигать сигнальная лампа (вследствие несоответствия положений ключа управления и выключателя), а на панели общей сигнализации горит табло «блинкер не поднят», звонит звонок и работает сирена.

2. Классификация защит электрических сетей

Релейную защиту принято классифицировать по характеру изменения параметра, на который реагирует защита, по назначению в зависимости от ответственности и порядка работы при КЗ, а также для определенных видов КЗ.

1. По характеру изменения параметра защиты разделяются на максимальные и минимальные. Защиты, реагирующие на величины I , I_2 , I_0 , U_2 , U_0 ,

возрастающие в условиях КЗ, называются максимальными. Защиты, реагирующие на величины U , z , снижающиеся при КЗ, называются минимальными.

Следует отметить, что при использовании терминов *максимальный* и *минимальный* понимается не максимальное (*max*) или минимальное (*min*) значения функции, а наибольшие и наименьшие значения из всей выборки максимальных и минимальных расчетных режимов, которые в индексах будем соответственно обозначать «макс» и «мин».

2. По назначению в зависимости от ответственности и порядка действия при КЗ защиты классифицируют как основные, резервные и дополнительные.

Основной называется защита, обеспечивающая первоочередное отключение повреждений в любой точке защищаемого участка.

Резервной называют защиту, обеспечивающую отключение поврежденного участка при отказе в работе основной защиты или выключателя. Различают резервные защиты ближнего действия, отключающие повреждения в любой точке защищаемого участка при отказе его основной защиты, и резервные защиты дальнего действия, создающие условия для отключения защищаемого участка при КЗ на смежном участке и отказе защиты или выключателя смежного участка. С целью упрощения резервных защит допускается выполнение их реагирующими только на более частые виды КЗ (однофазные и двухфазные).

Дополнительной называется защита, обеспечивающая частичное дублирование основной защиты и действующая в этом случае одновременно с ней. Обычно это простая защита, основанная на другом принципе и отключающая наиболее тяжелые виды КЗ на части защищаемого участка.

3. По назначению для определенных видов КЗ классификация защит зависит от режима заземления нейтрали сети. Для сети 110 кВ и выше, работающих с эффективно заземленной нейтралью, выделяют защиты от междуфазных повреждений (максимальные токовые и дистанционные), от замыканий на землю (максимальные токовые нулевой последовательности) и

от всех видов повреждений (дифференциальные, дифференциально-фазные и направленные высокочастотные защиты, а также приставки высокочастотной блокировки).

3. Требования, учитываемые при проектировании защит

Полный объем требований, предъявляемых к релейной защите, рассмотрен в [1, 2]. При проектировании релейной защиты основными требованиями являются: быстродействие, избирательность (селективность), чувствительность, надежность и наличие устройств сигнализации.

Быстродействующей считается защита, обеспечивающая подачу командного импульса на отключение со временем не более 0,1 с с момента возникновения нарушения. Для линий 35 кВ и выше применение быстродействующего отключения считается обязательным на тех участках, где повреждения вызывают снижение напряжения до 60—65 % на шинах подстанций, через которые осуществляется транзит мощности параллельно работающих станций системы. На рис. 1.2 такими транзитными подстанциями (П) являются *ПА*, *ПБ* и *ПВ*. Любое КЗ (*К1*, *К2*) на транзитных линиях *АВ* и *БВ* должно отключаться без выдержки времени, т.е. релейная защита на выключателях *Q1—Q4* должна быть быстродействующей. Время действия защиты на выключателях *Q5* и *Q6* определяется уровнем остаточного напряжения на шинах подстанций *ПБ* и *ПВ* при КЗ в конце зоны действия защиты (отсечки) в точках *К3* и *К4*. Здесь быстродействующая защита требуется только на выключателе *Q5*.

Быстродействующими являются первые ступени токовых отсечек, дистанционных защит, продольные и поперечные дифференциальные, дифференциально-фазные и направленные высокочастотные защиты.

Избирательной считается защита, обеспечивающая отключение только поврежденного элемента энергосистемы. Необходимая избирательность

достигается отстройкой от таких значений подводимых к защите параметров ($I, I_0, I_2, U_2, U_0, U, z$), при которых защита данного

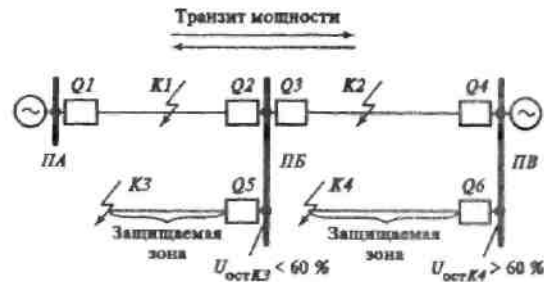


Рис. 1.2. Пример определения быстродействия релейной защиты

элемента не должна действовать. Указанную отстройку получают введением коэффициента запаса k_3 к расчетному значению параметра:

$$A_{с.з} = k_3 A_{расч}$$

Для максимальных защит $k_3 > 1$, для минимальных защит $k_3 < 1$.

Кроме того, для обеспечения избирательности и резервирования защиты выполняются многоступенчатыми с дополнительным согласованием ступеней смежных защит по времени (для вторых и последующих ступеней):

$$t_{с.з}^{II} = t_{с.з.см}^I + \Delta t,$$

где $t_{с.з}$ — время срабатывания защиты; $t = 0,5—0,6$ с — ступень селективности (избирательности).

Напомним, что функцию избирательности выполняют реле направления мощности и реле сопротивления.

На рис. 1.3 показан принцип выполнения многоступенчатой защиты.

Первая ступень защищает основной объект и отстраивается от расчетных параметров при КЗ за выключателем смежного участка (в точке КЗ). Напомним, что при расчетах ток защиты одинаков в точках К1, К2, К3, и поэтому иногда говорят, что I ступень отстраивается от КЗ в конце линии (точка К1), хотя имеется в виду точка КЗ. *Вторая ступень* резервирует I ступень и полностью защищает свой объект и часть смежного, отстраивается от первых (или вторых) ступеней защиты смежных линий. *Третья ступень* резервирует защиты своей и смежной линий (частично), отстраивается от

вторых (третьих) ступеней защит смежных линий, а также от нормального и перегрузочного режимов.

Чувствительной считается защита, обеспечивающая надежное отключение защищаемого элемента при его повреждениях. Надежность отключения характеризуется коэффициентом чувствительности.

Для максимальных защит коэффициент чувствительности определяется как отношение наименьшего значения электрического параметра,

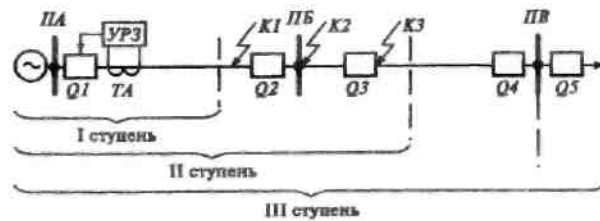


Рис. 1.3. Пример определения избирательности многоступенчатой защиты

подводимого к защите при КЗ в конце защищаемой линии, к уставке срабатывания:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}}}{I_{\text{с.з}}}, \quad k_{\text{ч}} = \frac{U_{2\text{к.мин}}}{U_{2\text{с.з}}}$$

Для минимальных защит коэффициент чувствительности определяется как отношение уставки срабатывания ($z_{\text{с.з}}$, $U_{\text{с.з}}$) к наибольшему значению электрического параметра, подводимого к защите при КЗ в конце защищаемой линии:

$$k_{\text{ч}} = z_{\text{с.з}}/z_{\text{к.макс}}, \quad k_{\text{ч}} = U_{\text{с.з}}/U_{\text{к.макс}}$$

Значения коэффициентов чувствительности регламентируются [1].

Для большинства основных защит принимается $k_{\text{ч}}$ - 1,5—2,0, для резервных $k_{\text{ч}}=1,2—1,5$. Чувствительность первых ступеней защит может характеризоваться косвенно — защищаемой зоной.

Надежной считается защита, обеспечивающая ее устойчивое функционирование в неодинаковых режимах. Различают аппаратную и эксплуатационную надежность. Аппаратная надежность характеризует качество защиты, обеспечивается простотой схем, а также безотказностью,

ремонтпригодностью и долговечностью комплектующих элементов. Для сложных защит применяют устройства самоконтроля (функциональный контроль), обеспечивающие, в частности, вывод защиты из работы при ее повреждениях и контроль исправности выходных цепей. Особо сложные защиты выполняют с многократным дублированием и мажорированием основных каналов, что исключает неверное действие защиты при повреждении любого из них. Эксплуатационная надежность характеризует устойчивость функционирования и обеспечивается точностью работы и помехозащищенностью, а также реализацией таких основных требований, как быстродействие, избирательность и чувствительность.

Для повышения надежности применяют дублирование и резервирование основных защит (ближнее и дальнее резервирование).

Наличие устройств сигнализации позволяет судить о правильности работы защиты и автоматики и анализировать порядок протекания процессов при КЗ. С этой целью сигнальные реле устанавливаются не только в отключающих и включающих цепях выключателей, но и в цепи каждой ступени защиты. Кроме того, применяют устройства для автоматической записи электрических параметров системы в нормальном режиме (самопишущие приборы) и при КЗ (аварийные осциллографы, регистраторы).

Лекция 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1. Номенклатура устройств релейной защиты

В настоящее время защита электрических сетей напряжением 6— 750 кВ выполняется с помощью комплексов релейной защиты линий, выполненных как на базе традиционных электромеханических устройств, так и с применением микроэлектронной базы (интегральных микросхем, микропроцессорной техники).

Электротехническая промышленность серийно выпускает в течение последних десятилетий следующие панели защиты на электромеханической базе:

панель защиты типа ЭПЗ 1636-67 — для защиты линий напряжением ПО—220 кВ, содержащая трехступенчатую дистанционную защиту с блокировкой при качаниях и неисправностях цепей напряжения, четырехступенчатую токовую защиту нулевой последовательности, междуфазную токовую отсечку, реле устройства резервирования отказа выключателей (УРОВ);

панель защиты типа ДФЗ-201 — дифференциально-фазная высокочастотная защита, предназначена для применения в качестве основной защиты линий напряжением 110—220 кВ; это быстродействующая защита, действующая при всех видах КЗ в системе;

панель защиты типа ДФЗ-503 — дифференциально-фазная высокочастотная защита для линий 330—500 кВ;

панель защиты типа ЭПЗ 1637-91 применяется для выполнения поперечной дифференциальной токовой направленной защиты параллельных линий ПО—220 кВ при замыканиях между фазами (комплект КЗ-6) и на землю (комплект КЗ-7);

панель защиты типов ЭПЗ 1638-91 и ЭПЗ 1639-91 применяется для выполнения продольной дифференциальной токовой защиты линий ПО—220 кВ; это быстродействующая защита с проводными каналами связи, действующая при всех видах КЗ в системе;

панель типа ЭПЗ 1643 высокочастотной блокировки дистанционной защиты и направленной защиты нулевой последовательности линий НО—330 кВ; применяется для исключения выдержки времени защит при замыканиях на защищаемой линии; панель предназначена для совместной работы с панелью типа ЭПЗ 1636-67 или с любой другой, на которой установлены аналогичные защиты;

панель типа ЭПЗ 1651-91 защиты и автоматики применяется для защиты двух линий электропередачи напряжением 35 кВ при многофазных замыканиях; обеспечивает трехступенчатую токовую защиту с помощью токовой отсечки без выдержки времени и максимальной токовой защиты с пуском по напряжению, а также токовой отсечки с выдержкой времени; имеются устройства двухкратного АПВ (реле типа РПВ-02);

панель типа ПА 115-91 УРОВ применяется для выполнения устройства резервирования отказа выключателей присоединений подстанций ПО—500 кВ;

панель дистанционной защиты типа ПЗ-4 применяется для защиты линий напряжением 35 кВ при всех видах многофазных КЗ; включает в себя трехступенчатую дистанционную защиту и токовую отсечку (комплект защиты типа КЗ-11);

панель аварийного осциллографа типа ПДЭ 0301 предназначена для размещения аварийного осциллографа типа Н 13 и управления его работой совместно с магнитографом при возникновении аварийного режима в энергосистеме.

Кроме панелей защиты выпускаются также комплекты защиты серии КЗ на электромеханических реле, которые предназначены для применения в схемах релейной защиты. Комплекты типов КЗ 9, КЗ 10, КЗ 12— КЗ 15, КЗ 17 применяются для работы на оперативном постоянном токе, а комплекты типов КЗ 35—КЗ 38 — для работы на оперативном переменном токе. Все элементы каждого комплекта защиты смонтированы в одном общем корпусе. Назначение комплектов:

КЗ 9, КЗ 9/2 — токовая отсечка при междуфазных КЗ в двухфазном двухрелейном исполнении;

КЗ 10 — трехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности, применяемая в составе панели типа ЭПЗ 1636-67;

КЗ 12 — максимальная токовая защита при между фазных КЗ в двухфазном двухрелейном исполнении с независимой выдержкой времени;

КЗ 13 — быстродействующая токовая отсечка в двухфазном двухрелейном исполнении и максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени в двухфазном трехрелейном исполнении;

КЗ 14 — максимальная токовая направленная защита с выдержкой времени в двухфазном двухрелейном исполнении;

КЗ 17 — максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени в двухфазном трехрелейном исполнении;

КЗ 35 — максимальная токовая защита в двухфазном однорелейном исполнении;

КЗ 36 — максимальная токовая защита в двухфазном двухрелейном исполнении;

КЗ 37 — токовая быстродействующая отсечка и максимальная токовая защита с выдержкой времени в двухфазном трехрелейном исполнении;

КЗ 38 — максимальная токовая направленная защита с выдержкой времени в двухфазном двухрелейном исполнении.

С середины 80-х годов серийно выпускаются следующие комплексы релейной защиты линий 110—330 кВ на микроэлектронной элементной базе:

шкаф ШДЭ 2801 [15], содержащий ступенчатые защиты для реализации функций резервных защит при наличии основной быстродействующей (взамен панели ЭПЗ 1636-67); имеет в своем составе трехступенчатую дистанционную защиту с блокировками при качаниях и неисправностях цепей напряжения, токовую отсечку, четырехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности, реле УРОВ;

шкаф ШДЭ 2802, содержащий два отдельных комплекта (основной и резервный) ступенчатых защит и предназначенный для использования в виде единственной защиты (вместо панели ЭПЗ 1636-67); основной комплект — это шкаф ШДЭ 2801, а резервный комплект содержит двухступенчатые дистанционную и токовую защиты нулевой последовательности;

панель ПДЭ 2802 направленной высокочастотной защиты, используемой в качестве основной, вместо панели ДФЗ-201.

Надежность функционирования этих устройств достигается, в частности, применением постоянного функционального автоматического контроля, охватывающего значительную часть элементов, с сигнализацией возникающих неисправностей. Для снижения трудозатрат на профилактическое обслуживание предусмотрен автоматизированный тестовый контроль.

Для линий 500 кВ и выше с 1983 г. выпускаются комплексы устройств релейной защиты и автоматики на интегральных микросхемах серии ПДЭ 2000:

панель ПДЭ 2001 — дистанционная трехступенчатая защита, применяется в качестве резервной от всех междуфазных КЗ, содержит устройства блокировки при качаниях и неисправностях в цепях переменного напряжения;

панель ПДЭ 2002 — токовая направленная четырехступенчатая защита нулевой последовательности, также имеет в своем составе токовую отсечку от междуфазных КЗ и защиту от неполнофазного режима; применяется в качестве резервной защиты от КЗ на землю, дополнительной защиты от междуфазных КЗ вблизи шин подстанции и для ликвидации длительных неполнофазных режимов;

панель ПДЭ 2003 — направленная и дифференциально-фазная высокочастотная защита, применяется в качестве основной быстродействующей защиты линий от всех видов КЗ как в полнофазном режиме, так и при работе линии двумя фазами в цикле однофазного АПВ; при полнофазной работе линии панель используется в режиме направленной фильтровой защиты с высокочастотной блокировкой, и только на время цикла ОАПВ она переводится в режим сравнения фаз токов;

панель ПДЭ 2004.01 — устройство одно- и трехфазного АПВ;

панель ПДЭ 2004.02 — устройство трехфазного АПВ на три присоединения;

панель ПДЭ 2005 — УРОВ;

панель ПДЭ 2006 — защита шин.

С 1991 г. происходит выпуск модернизированного комплекса защит линий 500 кВ и выше:

шкаф дистанционной защиты типа ШЭ 2703 — взамен ПДЭ 2001;

шкаф токовой защиты типа ШЭ 2704 — аналог ПДЭ 2002;

шкаф высокочастотной защиты типа ШЭ 2705 — аналог ПДЭ 2003;

шкаф устройства трехфазного АПВ типа ШЭ 2706 взамен ПДЭ 2004.02;

шкаф устройства однофазного АПВ типа ШЭ 2702 — взамен ПДЭ 2004.01;

шкаф УРОВ типа ШЭ 2001 — взамен ПДЭ 2005;

шкаф защиты сборных шин типа ШЭ 2303 — взамен ПДЭ 2006.

Комплексы защиты типа ПДЭ 2000 и ШЭ 2700 могут эксплуатироваться и на линиях 330 кВ.

Вопросы проектирования релейной защиты и автоматики электрических сетей регламентированы Правилами устройства электроустановок [1], Руководящими указаниями по релейной защите [6—11] и директивными материалами Главтехуправления РАО «ЕЭС России». Принципы выбора уставок защит, в основном, мало зависят от элементной базы, на которой выполнена защита, и определяются традиционными методиками, изложенными в Руководящих указаниях. Некоторые особенности расчета уставок, связанные с различием элементной базы отдельных измерительных органов, изложены в [12—15].

2. Исходные данные сети

Исходная схема сети представляет собой однолинейную электрическую схему проектируемого района, на которой указывают:

1) схему с номинальными напряжениями, длинами линий, марками проводов, наличием заземляющих тросов и их материала. Обязательно учитывают

параллельность линий, частичную или полную, а также указывают расстояние между параллельными линиями;

2) схему электрических соединений электростанций и подстанций с параметрами трансформаторов, автотрансформаторов (мощность, напряжение КЗ, группы соединения обмоток, пределы регулировки напряжения), генераторов (мощность, номинальное напряжение, сверхпереходное реактивное сопротивление) [4]; кроме того, места установки и типы коммутационной аппаратуры;

2) приведенные к шинам подстанций защищаемой сети значения сопротивлений прямой (обратной) и нулевой последовательностей других частей системы, соответствующие максимальному и минимальному режимам работы;

3) места установки, типы и коэффициенты трансформации датчиков информации. Трансформаторы тока (ТТ) — либо встроенные в выключатели, либо отдельно стоящие. Трансформаторы напряжения (ТН) устанавливаются на каждой системе шин подстанций, емкостные отборы напряжения — на входе линий, до выключателей.

Кроме того, в исходных данных необходимо отразить ряд особенностей, влияющих на выбор принципов и расчет уставок релейной защиты.

1) применение подстанций без выключателей на стороне высокого напряжения с установкой короткозамыкателей и отделителей. Здесь возникает необходимость отключения линии с питающего конца при коротком замыкании (КЗ) на приемной подстанции, например в трансформаторе;

2) присоединение потребителей к линии электропередачи глухими отпайками. При этом усложняется выбор уставок защит, особенно для параллельных линий;

3) рост несимметричной нагрузки: электрическая тяга на переменном токе, электродуговые печи и т.д., — вследствие чего при нормальном режиме работы в сети появляются токи и напряжения обратной и нулевой последовательностей;

4) широкое применение на одиночных линиях неполнофазных режимов работы по схеме две фазы и земля. Здесь также в нормальном режиме появляются токи и напряжения обратной и нулевой последовательностей;

5) применение переменного оперативного тока, параметры которого зависят от вида и места КЗ.

3. Основные режимы сети

Основные режимы сети касаются уровня загрузки системы и режима заземления нейтрали.

1. По уровню загрузки системы режимы разделяют на *максимальный* или нормально-эксплуатационный, когда в работе находятся все элементы энергосистемы, и *минимальный*, когда часть генераторов и линий отключены при минимальном режиме работы смежной системы. Режим работы для выбора уставок и оценки чувствительности защит рассматриваются конкретно для каждой защиты элемента сети и для каждого вида КЗ. Кроме того, для выбора уставок последних ступеней защит учитываются аварийные (диспетчерские) режимы работы, для которых указывают уровни напряжений на подстанциях и значения токов по линиям и трансформаторам.

2. *Режимы заземления* нейтралей трансформаторов и автотрансформаторов принимают на основании следующих основных положений:

а) нейтрали всех автотрансформаторов заземляются наглухо;

б) заземление нулевых точек трансформаторов электростанций весьма желательно, так как при этом исключается возможность работы участка сети в режиме изолированной нейтрали с появлением перемежающейся дуги; в тех случаях, когда по условиям снижения токов замыкания на землю приходится разземлять нейтрали у части трансформаторов, необходимо предусматривать автоматику первоочередного отключения этих трансформаторов при устойчивом замыкании на землю в защищаемой сети (рис. 1.4) или с помощью чувствительных защит блоков [22];

- в) режим заземления нейтралей нулевых точек понизительных трансформаторов в основном определяется условиями работы релейной защиты (обычно заземляют только часть трансформаторов для того, чтобы при всех переключениях число заземленных трансформаторов не менялось); при работе сети с частичным заземлением нейтралей должны учитываться конструктивные особенности выполнения трансформаторов (некоторые типы трансформаторов с высшим напряжением ПО кВ и регулировкой напряжения под нагрузкой имеют изоляцию нулевого вывода, рассчитанную на напряжение не более 40 кВ и недостаточную для случая перехода в режим с изолированной нейтралью);
- г) силовые трансформаторы с резко выраженной несимметричной нагрузкой (например, подстанций электротяги, работающей на однофазном переменном токе) требуют заземления нейтралей обмоток высокого напряжения, соединенных в звезду и присоединенных к сети 110—220 кВ.

При оценке категории потребителя учитывают существование параллельных связей, наличие резерва мощности, допустимость и длительность перерывов в энергоснабжении.

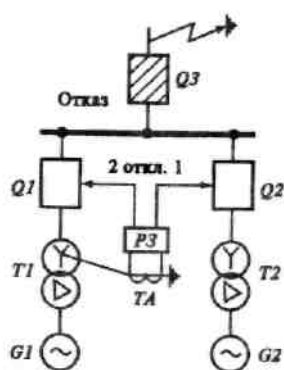


Рис. 1. Пример первоочередного отключения блока генератор-трансформатор, работающего с изолированной нейтралью, при устойчивых замыканиях на землю в сети с эффективно-заземленной нейтралью

Лекция 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ РАЗНЫХ ВИДОВ ПОВРЕЖДЕНИЙ

МАКСИМАЛЬНЫЕ ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

1. Общие замечания

Максимальные токовые защиты (МТЗ) приходят в действие при увеличении тока в линии сверх некоторого значения, определяемого условиями избирательности. В качестве реле, реагирующих на возрастание тока, используются максимальные токовые реле типа РТ-40 и различные комплектные защиты, выполненные на их базе (см. п. 1.2,1), или измерительные органы тока современных защит.

Для линий с односторонним питанием МТЗ выполняется многоступенчатой и обычно служит основной защитой от междуфазных повреждений. Для линий с двухсторонним питанием МТЗ используется, как правило, в качестве отсечки.

2. Максимальные токовые защиты линий с односторонним питанием

В качестве примера рассмотрен участок сети, приведенный на рис. 1.

Для наглядности расчетные выражения даны для защиты, установленной на подстанции А. Для расчета МТЗ любой другой подстанции формулы будут те же.

1. Ток срабатывания отсечки первой ступени отстраивается от максимального тока $K3$ за выключателем смежного участка

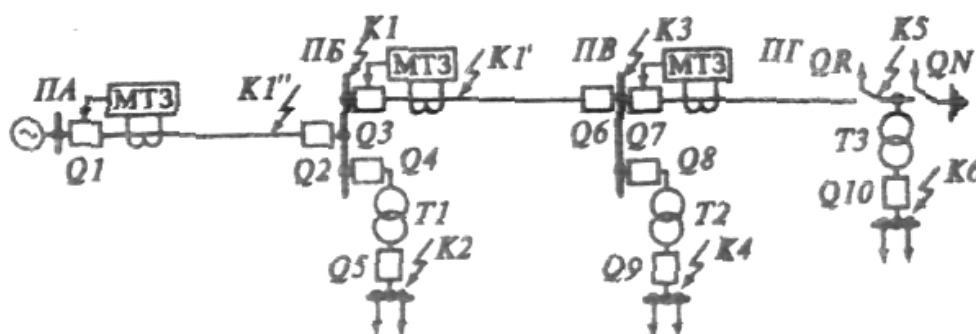


Рис. 1. К примеру расчета МТЗ от междуфазных повреждений для линии с односторонним питанием

$$I_{с.з(A)}^I = k_3 I_{к.макс.см(KI')}, \quad (1)$$

где $k_3 = 1,2$ — коэффициент запаса по избирательности.

Если линия питает трансформаторы, не имеющие выключателей на стороне высокого напряжения, то расчетным является КЗ за выключателем на стороне низшего напряжения. В этом случае $k_3 = 1,3$.

2. Оценка чувствительности отсечки первой ступени производится по величине защищаемой зоны или по коэффициенту чувствительности. Зона, защищаемая отсечкой, определяется по кривым спада тока КЗ по линиям в максимальном и минимальном режимах при условии $I_{к.л} \geq I_{с.з}$.

Если расчетной является отстройка от КЗ за трансформатором приемной подстанции (например, защита ПВ, точка Кб), то отсечка обычно защищает всю линию ($x_{отс} > x_{ВГ}$). В этом случае определяется как $x_{отс}$, так и коэффициент чувствительности $k'_{ч(В)}$ при КЗ в конце защищаемой Линии (точка К5):

$$x_{отс} = x_{заш} - x_{сист \Sigma}, \quad (2)$$

где $x_{заш} = U_{ср.ном} / (\sqrt{3} I_{с.з})$ - результирующее сопротивление, соответствующее току срабатывания; $x_{сист}$ — сопротивление системы, приведенное к шинам подстанции В в месте установки защиты.

$$k'_{ч(В)} = I_{к.мин(K5)} / I_{с.з(В)}^I \quad (3)$$

при $k'_{ч(В)} \geq 1,3$ — отсечка применяется в качестве основной защиты.

3. Определяется остаточное напряжение на шинах в месте установки защиты при КЗ в конце зоны действия отсечки, %:

$$U_{ост} = \frac{\sqrt{3} I_{с.з}^I x_{отс}}{U_{ср.ном}} 100. \quad (4)$$

Если остаточное напряжение окажется менее 60 %, а питающая подстанция является транзитной, то можно применить ускорение защиты до АПВ.

4. Ток срабатывания отсечки второй степени отстраивается от токов срабатывания отсечки I или II ступеней защит смежных линий ($k_3 = 1,1$)

$$I_{с.з(A)}^{II} = k_3 I_{с.з.см(B)}^{I(II)}, \quad (5)$$

и проверяется отстройка от КЗ за трансформатором приемной подстанции $k_3 = 1,2$ (при наличии выключателя на стороне высокого напряжения трансформатора, рис. 1)

$$I_{с.з(A)}^{II} = k_3 I_{к.см(K2)}. \quad (6)$$

Расчетным является большее из значений, полученных по формулам (5) и (6).

5. Выдержка времени II ступени защиты принимается на ступень селективности ($\Delta t = 0,5$ с) больше выдержек времени ступеней защиты, от которых произведена отстройка:

$$t_{с.з(A)}^{II} = t_{с.з.см(B)}^{I(II)} + \Delta t. \quad (7)$$

6. Чувствительность отсечек второй степени проверяется в случае металлического КЗ в конце защищаемой линии при минимальном режиме (см. рис. 1)

$$k_{ч(A)}^{II} = \frac{I_{2к.мин(KI'')}^{(2)}}{I_{с.з(A)}^{II}} \geq 1,5. \quad (8)$$

7. Ток срабатывания максимальной токовой защиты (третьей ступени) отстраивается от максимального тока нагрузки присоединения

$$I_{с.з}^{III} = (k_3 / k_B) k_C I_{нагр\Sigma}, \quad (9)$$

где $k_3 = 1,1$ — коэффициент запаса по избирательности;

$k_B = 0,8 - 0,85$ — коэффициент возврата для реле РТ-40;

$k_C = 1,5—2,5$ — коэффициент самозапуска электродвигателей;

$I_{нагр\Sigma} = S_T / (\sqrt{3} \cdot 0,9 U_{ном})$ — максимальный ток нагрузки.

8. Проверяется отстройка от токов срабатывания вторых или третьих ступеней защит смежных линий, аналогично (5)

$$I_{с.з(A)}^{III} = k_3 I_{с.з.см(B)}^{II(III)}.$$

9. Выдержка времени третьей ступени защиты принимается на ступень селективности больше выдержек времени зашит, от которых произведена отстройка, аналогично (7).

10. Чувствительность третьей ступени защиты проверяется при КЗ в конце смежного участка в минимальном режиме (см. рис. 1)

$$k_{ч(А)}^{III} = \frac{I_{к.мин(КЗ)}^{(2)}}{I_{с.з(А)}^{III}} \geq 1,2. \quad (10)$$

3. Ненаправленные токовые отсечки для линий с двухсторонним питанием

1. Ток срабатывания отсечки отстраивается от максимального тока, протекающего через защиту при следующих расчетных условиях (рис. 2):

а) отстройка от максимального тока линии при КЗ на шинах приемной подстанции (рис. 2, а);

б) отстройка от максимального тока линии при КЗ на шинах подстанции в месте установки защиты (КЗ «за спиной») (рис. 2, б);

в) отстройка от максимального тока качаний (рис. 2, в), возникающего при прохождении ЭДС параллельно работающих станций на 180° (рис. 2, в):

$$E_\phi = 1,05 U_{ср.ном} / \sqrt{3}$$

$$I_{кач.макс} = \frac{2 \cdot 1,05 E_\phi}{x_{эв.мин}} = \frac{2,1 U_{ср.ном}}{\sqrt{3} x_{эв.мин}}, \quad (11)$$

Где $x_{эв.мин}$ — эквивалентное минимальное сопротивление связи между параллельно работающими станциями, включая сверхпереходное сопротивление генераторов и сопротивление линии связи;

$$x_{эв.мин} = x_{систА} + x_{систБ} + x_l$$

Ток срабатывания отсечки выбирается по наибольшему из полученных значений токов

$$I_{с.з} = k_3 I_{макс}. \quad (12)$$

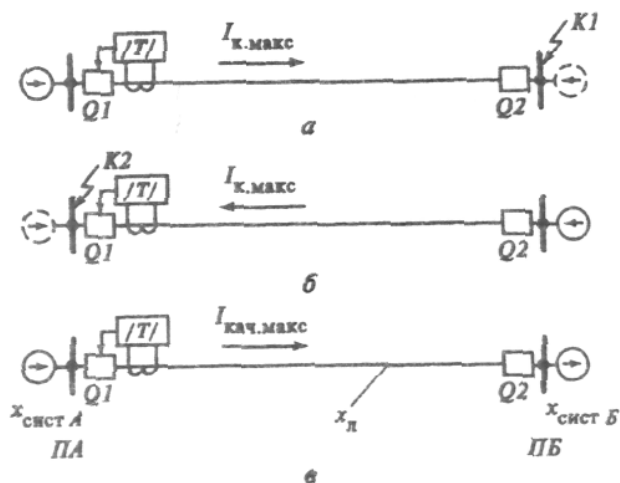


Рис. 2. К выбору тока срабатывания отсечек линии с двухсторонним питанием

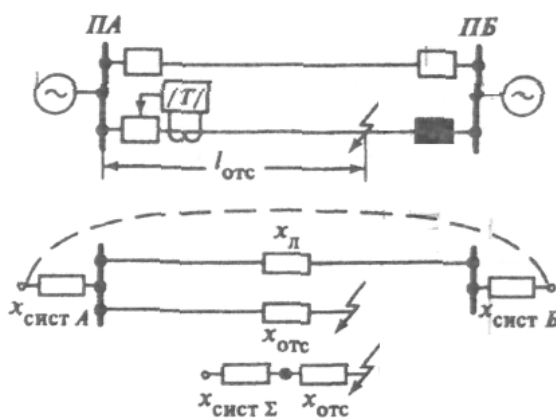


Рис. 3. Определение результирующего сопротивление системы при каскадном отключении КЗ

Поскольку при внешних КЗ ($K1$, $K2$) и при качаниях через защиты, установленные на обоих концах линии, протекают одинаковые токи, то уставка срабатывания для обеих защит принимается одной и той же:

$$I_{с.зАБ} = I_{с.зБА}.$$

2. Определяются зоны, защищаемые отсечкой в максимальном и минимальном режимах, а также в режиме каскадного отключения. В первом случае используются кривые спада (см. рис. 10), во втором — выражение (2), а зона отсечки

$$l_{*отс} = x_{отс} / x_{л}.$$

Рекомендуется определить чувствительность отсечки при двухфазном КЗ в начале линии. Отсечка может рекомендоваться к установке, если $k_{ч} \geq 1,2$.

3. Определяются по (4) уровни остаточных напряжений на шинах подстанций (в месте установки защиты) при КЗ в конце зоны действия отсечки. Для максимального и минимального режимов, для режима каскадного отключения $x_{отс}$ находится по (2). Определение $x_{сист\Sigma}$ показано на рис. 3.

4. Производится заключение о применимости отсечки. Если напряжение на шинах подстанции в минимальном режиме или режиме каскадного отключения с $t = 0$ равно или превышает 60 %, то отсечка применяется в качестве основной защиты. Если остаточное напряжение менее 60 %, а отсечка защищает в максимальном режиме 15 – 20 % линии, то она применяется в качестве дополнительной защиты.

Лекция 4. ДИСТАНЦИОННЫЕ ЗАЩИТЫ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

1. Общие замечания

Дистанционные защиты используются в сетях сложной конфигурации для защиты линии от междуфазных КЗ. Эти защиты приходят в действие при снижении сопротивления сети, т.е. являются минимальными. Основными преимуществами дистанционных защит по сравнению с токовыми защитами являются независимость защищаемой зоны при изменении уровня токов КЗ, т.е. при изменении режима сети, а также направленность действия. Селективность защит смежных линий обеспечивается введением ступенчатых выдержек времени: все КЗ в пределах I зоны (ступени), ближайшей к месту установки защиты, отключаются с минимальным временем; все КЗ в пределах II зоны — с большим временем; КЗ в пределах последней, III зоны, отключаются с наибольшим временем. Измерительными органами защиты являются направленные реле полного сопротивления, которые называются дистанционными органами (реле I и II ступеней) и пусковыми органами (реле III ступени).

Дистанционные защиты, как правило, входят в состав комбинированных панелей типа ЭПЗ 1636, ШДЭ 2801, но могут выполняться и в виде отдельных панелей, например типа ПДЭ 2001.

В качестве примера на рис. 2.4 приведена структурная схема дистанционной защиты панели ЭПЗ 1636. Основными элементами защиты являются:

- а) блок измерения, включающий набор реле сопротивления с согласующими трансреакторами (по цепям тока) и трансформаторами (по цепям напряжения);
- б) блокировка при качаниях, разрешающая работу защиты на время ликвидации КЗ в сети;
- в) блокировка при неисправностях цепей напряжения;

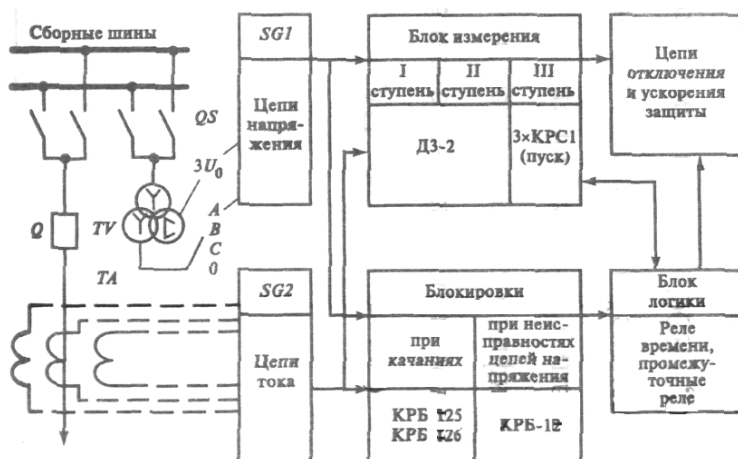


Рис. 4. Структурная схема дистанционной защиты панели ЭПЗ 1636

- г) блок логики, обеспечивающий заданные временные характеристики защиты;
- д) выходные цепи и цепи ускорения защиты.

Характеристики срабатывания реле сопротивления на комплексной плоскости представляют собой окружность (для III ступени можно выполнить эллипс), проходящую через начало координат. Диаметр окружности определяется уставкой срабатывания, а положение — углом максимальной

чувствительности $\varphi_{мч}$, который принимается в зависимости от напряжения сети и марки провода. Реле сопротивления современных защит имеют для II-III ступеней более сложные характеристики срабатывания (четыреугольник, треугольник).

2. Расчет уставок срабатывания

1. Предварительно в зависимости от марки провода определяется удельное комплексное сопротивление $z_y = r_y + jx_y$, по которому находится полное сопротивление линии $r_{л} = z_y l$. Затем находится длительно допустимый ток по условиям нагрева проводов, по которому выбирается коэффициент трансформации ТТ. В табл. 2.1 приведены некоторые параметры сталеалюминиевых проводов для линий напряжением 110-220 кВ.

2. Уставка срабатывания первой ступени выбирается из условия отстройки от КЗ на шинах приемной подстанции

$$z'_{с.з} = k_3 z_{л}, \quad (13)$$

где $k_3 = 0,85$ — коэффициент запаса по избирательности, учитывающий погрешность защиты совместно с трансформаторами тока и напряжения.

Отстройка от КЗ на шинах подстанции в месте установки защиты не производится, так как все ступени защиты выполнены направленными.

Таблица 1 – Параметры сталеалюминиевых проводов для линии электропередачи напряжением 110-220 кВ

Марка провода	Допустимые токи нагрузки, А	r_y , Ом/км	x_y , Ом/км	
			110 кВ	220кВ
АС 70/11	265	0,428	0,444	-
АС 95/16	330	0,306	0,434	-
АС 120/19	375	0,249	0,427	-
АС 150/24	450	0,198	0,42	-
АС 185/29	510	0,162	0,413	-
АС 240/32	605	0,12	0,405	0,435
АС 300/39	690	0,098	-	0,429
АС 400/51	835	0,075	-	0,42
АС 500/64	945	0,06	-	0,413

3. Уставка срабатывания второй ступени выбирается по двум основным условиям (рис. 5):

а) согласование с дистанционными защитами смежных линий

$$z_{с.з}^{II} = k_3 z_{л} + k'_3 z_{с.з.см}^{I(II)} / k_{ток} \quad (14)$$

где $k'_3 = 0,78$ — коэффициент запаса по избирательности согласуемых защит линий;

$k_{ток} = I_{з.выб} / I_{з.см}$ — коэффициент токораспределения, определяемый по трехфазному КЗ в конце зоны действия той защиты, и которой производится согласование (при этом следует рассматривать щюкие режимы, когда значение $k_{ток}$ максимально);

$I_{з.выб}$ — ток, протекающий через ТТ защиты, для которой выбирается уставка;

$I_{з.см}$ — ток, протекающий через ТТ смежной защиты, с которой производится согласование;

$z_{с.з.см}^{I(II)}$ — уставка срабатывания первой (или второй) ступени защиты смежной линии;

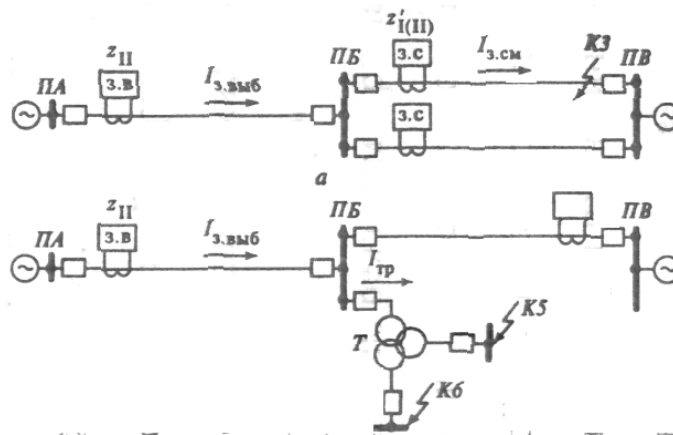


Рис. 5 – Расчётные условия для согласования дистанционных защит
а – согласование с защитами смежных линий; б – отстройка от КЗ за трансформатором

б) отстройка от КЗ за трансформатором приемной подстанции

$$z_{с.з}^{II} = k_3 \left[z_{л} + j \frac{(1 - \Delta U)^2}{k_{ток}} x_T \right], \quad (15)$$

где ΔU — наибольший относительный предел регулировки напряжения силового трансформатора [4], например, $\Delta U = 0,12$ при регулировке $\pm 12\%$;

$k_{ток} = I_{з.выб} / I_T$ — коэффициент токораспределения при КЗ за трансформатором.

В дальнейшем из всех полученных значений сопротивлений срабатывания в качестве расчетного выбирается наименьшее.

4. Выдержка времени второй ступень принимается на ступень селективности ($\Delta t = 0,5$ с) больше выдержек времени тех ступеней защит, с которыми производится согласование;

$$t_{с.з}^{II} = t_{с.з.сМ}^{I(II)} + \Delta t. \quad (16)$$

Из всех полученных значений выдержки времени в качестве расчетной выбирается большая.

При наличии на смежных параллельных линиях поперечной защиты, вторая ступень дистанционной защиты должна быть отстроена от времени каскадного действия поперечной защиты (0,7—0,8 с). Если на приемной подстанции предусматривается устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ), то вторая ступень защиты должна быть отстроена от времени его действия (0,8—0,9 с).

5. Чувствительность второй ступени защиты проверяется при металлических КЗ на шинах приемной подстанции (режим ближнего резервирования):

$$k_{ч}^{II} = z_{с.з}^{II} / z_{л} \geq 1,25.$$

Если на линии имеется отпайка, то чувствительность проверяется и при металлическом КЗ в конце ее (рис. 6, а):

$$k_{ч}^{II} = \frac{z_{с.з}^{II}}{z_{л.отп} + (z_{отп} / k_{ток,отп})} \geq 1,25, \quad (17)$$

где $z_{л.отп}$ — сопротивление линии от места установки защиты до отпайки;

$z_{отп}$ — сопротивление отпайки;

$k_{ток.омн} = I_{з.выб} / I_{омн}$ коэффициент токораспределения при КЗ а конце отпайки.

Допускается выполнение условия (2.17) при каскадном отключении КЗ на отпайке.

6 Уставка срабатываний третьей ступени защиты выбирается, как правило, по условиям отстройки от максимального тока нагрузки линии. Ток нагрузки принимается либо по длительно допустимому току нагрева провода, либо задается диспетчерской службой энергосистемы, в последнем случае указывается $\cos\varphi$ нагрузки:

$$z_{с.з}^{III} = \frac{U_{мин.экспл}}{\sqrt{3} k_n k_v I_{нагр} \cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_{нагр})}, \quad (18)$$

где $U_{мин.экспл}$ – минимальное эксплуатационное напряжение, предварительно может быть принято равным $0,9U_{ном}$;

$k_n = 1,2$ — коэффициент надежности;

$k_v = 1,1$ — коэффициент возврата (для реле сопротивления);

$\varphi_{м.ч} = 65-80^\circ$ — угол максимальной чувствительности реле сопротивления;

$\varphi_{нагр}$ — угол сопротивления, обусловленного нагрузкой.

Первоначально $z_{с.з}$ определяется при $\cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_{нагр}) = 1$, но если чувствительность защиты получается недостаточной, то учитывают характер нагрузки и $\varphi_{м.ч}$. Обычно $\varphi_{нагр} < 30-40^\circ$.

7. Выдержка времени третьей ступени выбирается на ступень селективности больше выдержки времени вторых ступеней защит, аналогично (16).

8. Чувствительность третьей ступени защиты проверяется при КЗ в конце смежной линии (режим дальнего резервирования, рис. 6, б):

$$k_{ч}^{III} = \frac{z_{с.з}^{III}}{z_{л} + z_{л.см} / k_{ток}} \geq 1,2. \quad (19)$$

При оценке чувствительности рассматриваются такие режимы, при которых значение $k_{\text{ТОК}}$ минимально.

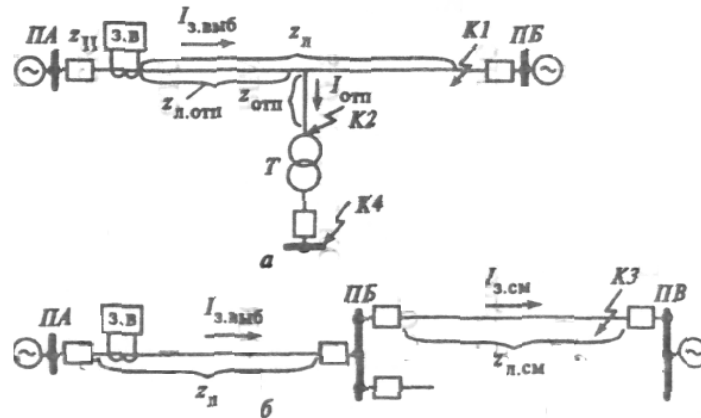


Рис. 6 – расчётные условия для проверки чувствительности дистанционной защиты: а – при КЗ на отпайках; б – при КЗ в конце смежной линии

Если условие (2.19) не обеспечивается, то на шинах приемной подстанции необходимо предусмотреть УРОВ.

9. Производится заключение о возможности применения защиты в качестве основной или резервной, для чего определяется остаточное напряжение на шинах при КЗ в конце первой ступени, %:

$$U_{\text{ост}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,85 z_{\text{л}} I_{\text{к}}^1}{U_{\text{ср.ном}}} 100, \quad (20)$$

где $I_{\text{к}}^1$ — ток линии при трехфазном КЗ в конце первой ступени защиты, определяемый по кривым спада. Если остаточное напряжение на шинах транзитной подстанции будет равно или больше 60 % (в минимальном режиме), то защита применяется в качестве основной от междуфазных КЗ, если менее 60 %, то в качестве резервной.

Лекция 5. 3. Выбор уставок и проверка реле сопротивления по току точной работы

1. Определяются уставки срабатывания реле сопротивления для различных ступеней

$$z_{\text{с.р}} = z_{\text{с.з}} \frac{K_I}{K_U},$$

где K_I и K_U — коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения.

2. Выбирается $r_{уст.мин}$ — минимальное сопротивление срабатывания реле сопротивления при 100 % включенных витков вторичной обмотки его промежуточного трансформатора напряжения. Напомним, что расчетный диапазон регулировки составляет от 5 до 100 %, а это соответствует 20-кратному изменению $z_{ср}$. Диапазон уставок и гарантированные токи точной работы реле сопротивления в составе панели ЭПЗ 1636-67 даны в табл. 2.

Выбор $z_{мин}$ комплекта ДЗ-2 для тех случаев, когда можно выставить любое из трех значений, определяется из заданных диапазонов токов настройки I или II ступени, т.е. тех диапазонов, в которых будут изменяться реальные токи КЗ в конце I или II зоны. При малых уровнях этих токов целесообразно иметь большую уставку $r_{уст.мин}$ и, следовательно, большую чувствительность по току, при больших уровнях токов настройки целесообразно иметь меньшую уставку $r_{уст.мин}$.

Таблица 2 – Технические данные реле сопротивления в комплектах ДЗ-2 и КРС-1 при вторичном номинальном токе 5 (1) А

Ступень и комплект защиты	Минимальное сопротивление срабатывания $z_{уст.мин}$, Ом/фазу	Диапазоны токов точной работы ($I_{т.р.мин} - I_{т.р.макс}$), А	
I и II ступени, комплект ДЗ-2	0,25 (1,25)	6,4—150	(1,28—30)
	0,5 (2,5)	3,2—100	(0,64—20)
	1,0 (5,0)	1,6—50	(0,32—10)
III ступень, комплект КРС-1	1,0 (5,0)		
	Окружность без смещения	1,6—50	(0,32—10)
	Эллипс без смещения	2,2—50	(0,44—10)
	Эллипс или окружность со смещением	2,75—42	(0,55—8,4)
	1,5 (7,5)		
	Окружность без смещения	1,1—33,5	(0,22—6,7)
Эллипс без смещения	1,5—33,5	(0,3—6,7)	
Эллипс или окружность со смещением	1,85—28	(0,37—5,6)	

3. Проверяется чувствительность защиты по току точной работы при металлическом трехфазном КЗ в конце зоны действия соответствующей ступени защиты по выражению:

$$k_{ч.точн} = I_{р.мин} / I_{т.р.мин} \geq 1,3 \quad (22)$$

где $I_{р.мин} = I_{з.мин}^{(3)} / K_I$ – ток в реле, соответствующий току защиты $I_{з.мин}^{(3)}$, который определяется по кривым спадаения или находится по схеме замещения прямой последовательности $I_{з.мин} = I_{к.мин}^{(3)} n_{1л}$.

4. При выбранной уставке $z_{уст.мин}$ расчет уставок на трансформаторах напряжения комплектов реле производится для каждой из ступеней. Расчетный процент включенных витков вторичной обмотки трансформатора напряжения к реле определяется по выражению, %:

$$N_{расч} = \frac{z_{уст.мин}}{z_{с.р}} 100. \quad (23)$$

4. Расчет уставок блокировки при качаниях

Ниже рассмотрен выбор уставок блокировки при качаниях типа КРБ-126, входящей в состав панели защиты ЭПЗ 1636. Пусковой орган блокировки реагирует на $|I_2| + |KI_0|$ и имеет торможение от фазного тока (обычно фазы А).

Расчет блокировки имеет целью определение уставок устройства по току обратной последовательности $I_{2уст}$. утроенному току нулевой последовательности $I_{0уст}$ и коэффициенту торможения $K_{торм}$, а также проверку чувствительности. Точный расчет уставок производится на основании его характеристики срабатывания и кривых чувствительности, приведенных в информации завода-изготовителя.

1. Характеристика срабатывания в координатах $I_{2ср}$ и $I_{торм}$ при заданных уставках $I_{2уст}$ и $K_{торм}$ представлена выражением

$$I_{2ср} = K_{торм} I_{торм} + I_{2уст}, \quad (24)$$

где $I_{2ср}$ — ток обратной последовательности срабатывания;

$I_{\text{торм}}$ — вторичный ток в фазе, питающей цепи торможения.

2. Устройство типа КРБ-126 имеет следующие уставки:

а) по току обратной последовательности ($I_{2\text{уст}}$) – 0,5; 0,75; 1,0 и 1,5 А (0,1; 0,15; 0,2 и 0,3 А) соответственно для исполнения на номинальный ток 5(1) А;

б) по утроенному току нулевой последовательности ($3I_{0\text{уст}}$): 1,5; 3,0 и 6,0 А (0,3; 0,6 и 1,2 А) соответственно для исполнения на номинальный ток 5(1) А;

в) по коэффициенту торможения $K_{\text{торм}}$ (при минимальной уставке $I_{2\text{уст}}$) 4; 7 и 11 %; причем с увеличением уставки $I_{2\text{уст}}$ коэффициент $K_{\text{торм}}$ пропорционально увеличивается. Например, при $I_{2\text{уст}} = 1$ А и установленном $K_{\text{торм}} = 7$ % действительный $K_{\text{торм}} = 14$ % (0,14).

В качестве примера на рис. 2.7 приведены характеристики срабатывания для $I_{2\text{уст}} = 0,5$ и 0,75 А.

Выбор уставок блокировки и проверки чувствительности вначале производится без использования тока I_0 .

3. Ток срабатывания отстраивается от токов небаланса в следующих расчетных режимах:

а) в нагрузочном режиме, А

$$I_{2 \text{ ср.нагр}} \geq \frac{k_3}{k_{\text{в}} K_I} (0,03 I_{\text{нагр}} + I_{2 \text{ нес.нагр}}), \quad (25)$$

б) в режиме качения, А

$$I_{2 \text{ ср.кач}} \geq \frac{k_3}{K_I} [(0,063 + 0,005 I_{\text{кач}}) I_{\text{кач}} + I_{2 \text{ нес.кач}}], \quad (26)$$

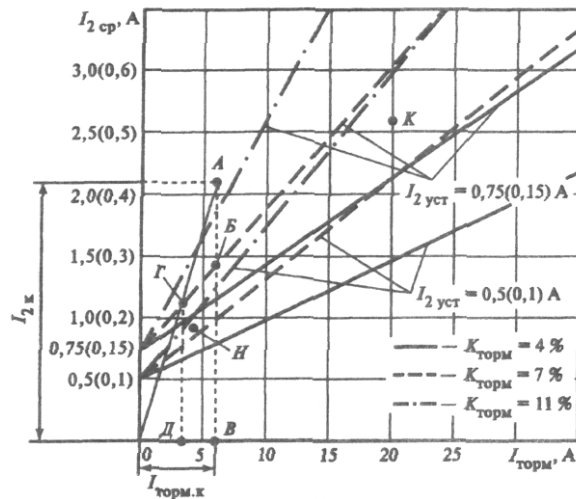


Рис. 7 – Характеристика срабатывания устройства блокировка при качаниях типа КРБ-126 при вторичном номинальном токе 5(1) А

где $t_3 = 1,2$ — коэффициент запаса по избирательности;

$k_в = 0,8$ — коэффициент возврата;

K_I — коэффициент трансформации ТТ защиты;

$I_{нагр}$, $I_{кач}$ — соответственно токи защиты в максимальном нагрузочном режиме и при качаниях;

$I_{2нec.нагр}$, $I_{2нec.кач}$ — соответственно токи обратной последовательности, обусловленные несимметрией в системе в расчетных режимах;

$I_{*кач} = I_{кач} / I_{1ТТном}$ — кратность тока качаний по отношению к номинальному току ТТ защиты.

Выражения (25) и (26) учитывают токи небаланса фильтра обратной последовательности, обусловленные погрешностью ТТ защиты, возможными отклонениями частоты в системе и неточностью настройки фильтра тока обратной последовательности.

Эти режимы определяют координаты точек K и H на рис. 7, ординаты которых соответствуют значениям $I_{2ср}$, определенным для режима качаний и режима нагрузки. В качестве возможных вариантов уставок принимаются уставки по $I_{2уст}$ и $K_{горм}$, соответствующие характеристикам срабатывания, ближайшим к точкам K и H и проходящим выше этих точек.

Нагрузочный режим может не рассматриваться в качестве расчетного, если уставка, выбранная по (26), удовлетворяет условию $I_{2уст} \geq 1,5I_{нес.нагр}$, а также условию $I_{2нес.нагр} = I_{2нес.кач} \leq 0,5A$ (0,1 А для ТТ одноамперного исполнения).

Таблица 3 – Рекомендуемые значения уставок блокировки от качения в зависимости от кратности тока качаний при вторичном номинальном токе 5(1) А

$I_{* кач}$ отн.ед	2 — 3		3 — 7		свыше 7
$I_{2уст}, А$	0,5(0,1)	0,75(0,15)	0,5(0,1)	0,75(0,15)	0,75(0,15)
$K'_{торм}$ (уставка %)	0,07(7%)	0,06(4%)	0,11(11%)	0,105(7%)	0,165(11%)

При отсутствии несимметрии в режимах качаний и нагрузки уставки могут быть приняты ориентировочно в соответствии с табл. 3.

Значение уставок уточняются по требованиям чувствительности.

4. Расчет чувствительности может производиться графически с использованием характеристик срабатывания при подведенных к устройству вторичных токах $I_{2к}$ и $I_{торм.к}$, определяемых при металлическом КЗ в расчетных по чувствительности условиях. При этом на плоскость ($I_{2ср}$, $I_{торм}$) Рис.7 наносится точка A , соответствующая токам $I_{2к}$ и $I_{торм.к}$. Проводится прямая OA , соединяющая точку A с началом координат. Определяются точка Γ пересечения прямой OA с характеристикой $I_{2ср} = f(I_{торм})$, соответствующей выбранным уставкам (так на рис. 7 приняты $I_{2ср} = 0,75 А$ и $I_{торм} = 7 \%$), и точка B пересечения характеристики срабатывания с проведенным из точки A перпендикуляром AB к точке абсцисс.

Определяется коэффициент чувствительности

$$k_u = AB/ГД \text{ и } k'_u = AB/БВ.$$

Устройство должно иметь следующие коэффициенты чувствительности:

- а) $k_u \geq 1,5$ и $k'_u \geq 1,1$ при КЗ в конце защищаемого участка;
- б) $k_u \geq 1,2$ и $k'_u \geq 1,1$ при КЗ в конце зоны резервирования.

Расчетными при проверке чувствительности являются следующие виды КЗ:

при неиспользовании в устройстве тока $3I_0$ — двухфазное КЗ на землю;

при использовании тока $3I_0$ — как двухфазное КЗ на землю, так и двухфазное КЗ.

При недостаточной чувствительности к двухфазным КЗ на землю необходимо использовать в устройстве ток $3I_0$, т.е. комбинированный пуск по $|I_2| + |3I_0|$.

Ток обратной последовательности в месте установки защиты при двухфазном КЗ на землю при $x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma}$ определяется по выражению

$$I_{2\text{к}}^{(1,1)} = \frac{U_{\text{ср.ном}} n_{1\text{л}}}{\sqrt{3} x_{1\Sigma} (x_{1\Sigma}/x_{0\Sigma} + 2)}, \quad (27)$$

где $n_{1\text{л}}$ — доля тока I_2 , протекающая по линии.

5. Значение $I_{\text{торм.к}}$ определяется в тех же расчетных режимах, как и минимальные значения вторичных токов $I_{2\text{к}}$ и $3I_{0\text{к}}$ в защите, и принимается равным максимальному току в одной из поврежденных фаз.

При неучете нагрузки значение $I_{\text{торм.к}}$ определяется через токи отдельных последовательностей в месте установка защиты:

для двухфазного КЗ

$$I_{\text{торм.к}}^{(2)} = \sqrt{3} I_{2\text{к}}^{(2)} n_{1\text{л}}, \quad (28)$$

для двухфазного КЗ на землю

$$I_{\text{торм.к}}^{(1,1)} = \sqrt{\left[\frac{1}{2} (I_{1\text{к}}^{(1,1)} - I_{2\text{к}}^{(1,1)}) + I_{0\text{к}}^{(1,1)} \right]^2 + \frac{3}{4} (I_{1\text{к}}^{(1,1)} + I_{2\text{к}}^{(1,1)})^2}. \quad (29)$$

Напомним, что значения всех токов должны быть приведены ко вторичным цепям ТТ делением на K_I .

Тормозной ток при токах нагрузки, соизмеримых с токами КЗ, определяется с учетом нагрузки

$$I_{\text{торм}\Sigma} = I_{\text{торм.к}} + I_{\text{нагр}}$$

При выполнении курсового проекта расчет $k_{\text{ч}}$ может приводиться упрощенно без учета нагрузки по выражению:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ к.в}} - K_{\text{торм}} I_{\text{торм.к.в}}}{I_{2 \text{ уст}}}, \quad (30)$$

где $I_{2 \text{ к.в}}$, $I_{\text{торм.к.в}}$ — минимальный вторичный ток I_2 и соответствующий ему вторичный тормозной ток в защите в расчетных по чувствительности условиях.

При трехфазных КЗ проверка $k_{\text{ч}}$ не производится; предполагается, что при трехфазном КЗ длительность предшествующей несимметрии (не менее 0,008 с) и кратность тока в реле достаточны для срабатывания устройства.

Выбор уставок устройства блокировки, когда ток $3I_0$ используется в устройстве, производится аналогично с использованием характеристик срабатывания и специальных кривых чувствительности. Кривые чувствительности определяют кратности тока в измерительном органе блокировки (поляризованное реле) к току его срабатывания $I_p/I_{\text{ср}}$ в зависимости от значений токов I_2 и $3I_0$ в защите при заданных уставках $I_{2\text{уст}}$ и $3I_{0\text{уст}}$. Подобные расчеты будут рассмотрены ниже при проверке уставок дифференциально-фазной защиты.

Лекция 6. МАКСИМАЛЬНЫЕ ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

1. Общие замечания

Для защиты электрических сетей с эффективно заземленной нейтралью от замыканий на землю применяют максимальные токовые защиты нулевой последовательности (ТЗНП). Эти защиты выполняются многоступенчатыми с органом направления мощности или без него. В качестве токового органа защиты используется реле типа РТ-40 (иногда реле РНТ-560), которое

включается на выход фильтра тока нулевой последовательности. В качестве такого фильтра часто используется нулевой провод трансформаторов тока, соединенных по схеме полной звезды.

Для защиты сетей 110—750 кВ применяют трех- и четырехступенчатые ТЗНП в составе комбинированных панелей ЭПЗ 1636, ЩДЭ 2801 или в виде отдельных панелей, например, типа ПДЭ 2002.

2. Расчет уставок срабатывания

1. Ток срабатывания отсечки первой ступени выбирается по следующим условиям:

а) Выполняется отстройка от максимального тока $3I_0$, протекающего через защиту при КЗ за выключателем смежного участка (на шинах приемной подстанции). Для получения максимального значения тока $3I_0$ отключают трансформаторы на шинах приемной подстанции, разрывают параллельные связи, питающие точку КЗ. Пример выполнения таких расчетных условий показан на рис. 2.8, а (точка К1). Так, в частности, для параллельных линий отключают и заземляют одну из них, что снижает сопротивление оставшейся линии.

б) Для параллельных линий отсечка первой ступени должна быть отстроена от каскадного отключения КЗ на параллельной линии, поскольку в этом случае, вследствие взаимоиндукции линий, точка КЗ как бы приближается к шинам подстанции, у которой произошло первоочередное отключение КЗ на параллельной линии, что увеличивает ток неповрежденной линии (рис. 8, б).

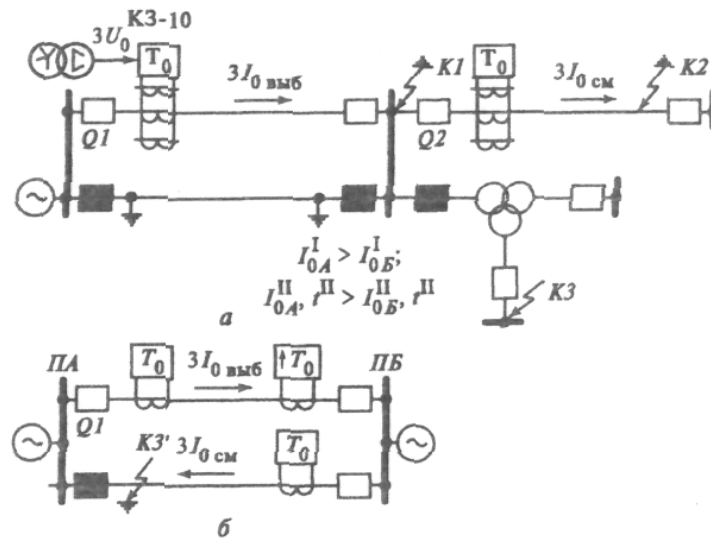


Рис. 8. Расчетные условия для выбора уставок МТЗ от замыканий на
землю

а — согласование защит смежных линий; *б* — согласование
параллельных линий в режиме каскадного отключения

Поскольку значение токов $3I_0$ зависит от вила $K3$ (однофазное или двухфазное на землю), расчетным является тот вид замыкания, где ток $3I_0$ больше. Выбор расчетного вида $K3$ производится в зависимости от соотношения сопротивлений прямой и нулевой последовательности, приведенных к рассматриваемой точке $K3$. При $x_{1\Sigma} > x_{0\Sigma}$ расчетным является двухфазное $K3$ на землю, при $x_{1\Sigma} < x_{0\Sigma}$ — однофазное $K3$.

По наибольшему из полученных значений тока $3I_0$ определяют ток срабатывания отсечки первой ступени

$$I_{0\text{ с.з.}}^I = k_3 3I_{0\text{ макс}}, \quad (31)$$

где k_3 — коэффициент запаса по избирательности, учитывающий погрешность реле, ошибки расчета, влияние апериодической слагающей и необходимый запас. При использовании реле типа РТ-40 для линий ПО—220 кВ $k_3 = 1,3$, для линий 330—750 кВ $k_3 = 1,4—1,5$.

в) Для линий с односторонним питанием ток срабатывания отсечки первой ступени также должен быть отстроен от тока небаланса при

трехфазном КЗ за трансформатором приемной подстанции по формуле (34) и от броска намагничивания тока, возникающего при включении линии под напряжение совместно с трансформаторами (автотрансформаторами) с эффективно заземленной нейтралью (см. п. 2.3.4).

Отстройка первых ступеней от неполнофазного режима, возникающего при разновременном включении фаз выключателя, не производится, так как все комплектные защиты имеют на выходе промежуточное реле, обеспечивающее отстройку по времени.

2. Для решения вопроса о выполнении отсечки первой ступени с органом направления или без него производят сравнение токов срабатывания отсечек первых ступеней, установленных по концам защищаемой линии. Отсечка, ток срабатывания которой больше, выполняется ненаправленной, отсечка с меньшим током срабатывания — направленной (рис. 8, б).

3. По кривым спада тока $3I_0$ по линии определяется зона, защищаемая отсечкой в максимальном и минимальном режимах. Отсечка считается удовлетворительной, если она защищает 20—25 % линии в максимальном режиме (или каскаде).

4. Ток срабатывания отсечки второй ступени выбирается по условиям согласования с отсечками первых (вторых) ступеней защит смежных линий

$$I_{0\text{ с.з}}^{\text{II}} = k_3 k_{\text{ток}} 3I_{0\text{ с.з.см}}^{\text{I(II)}}, \quad (32)$$

где $k_2 = 1,1$ — коэффициент запаса по избирательности согласуемых линий; $k_{\text{ток}} = 3I_{0\text{з.выб}}/3I_{0\text{з.см}}$ — коэффициент токораспределения, определяемый по току $3I_0$ при однофазном замыкании в конце зоны действия той защиты, с которой производится согласование; $3I_{0\text{з.выб}}$ — ток $3I_0$, протекающий через ТТ защиты, для которой выбирается уставка; $3I_{0\text{з.см}}$ — ток $3I_0$, протекающий через ТТ защиты, с которой производится согласование; $I_{0\text{с.з.см}}^{\text{I(II)}}$ — ток срабатывания первой или второй ступеней защиты смежной линии.

Определение коэффициента токораспределения для параллельных и кольцевых линий производится графически по кривым спада (рис. 9), в других случаях — по схеме замещения нулевой последовательности. Выбирая коэффициент токораспределения, следует рассматривать такие режимы, когда значение $k_{\text{ток}}$ максимально. При этом справедливы рекомендации по выбору режимов, указанные для отсечек первой ступени.

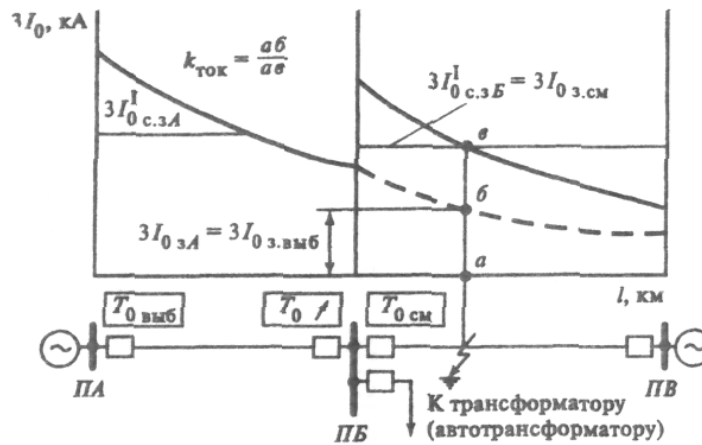


Рис. 9 – Графическое определение коэффициента токораспределения для согласования земляных защит

5. Применение органа направления мощности для отсечек вторых ступеней, установленных на концах A и B (рис. 9) одной линии, определяется следующим образом. Если время и ток срабатывания отсечки на подстанции A соответственно больше времени и тока срабатывания отсечки подстанции B :

$$t_{\text{с.з.}A}^{\text{II}} > t_{\text{с.з.}B}^{\text{II}} \text{ и } I_{\text{с.з.}A}^{\text{II}} > I_{\text{с.з.}B}^{\text{II}},$$

то на подстанции A защита выполняется ненаправленной, а на подстанции B — направленной.

В остальных случаях обе защиты, как правило, принимаются направленными.

6. Выдержка времени отсечки второй ступени принимается на ступень селективности ($\Delta t = 0,5$ с) больше выдержек времени тех ступеней защит, от которых произведена отстройка.

При отстройке от защит нескольких линий в качестве расчетных принимаются наибольшие значения тока срабатывания и выдержки времени.

7. Чувствительность отсечки второй ступени проверяется при металлическом однофазном КЗ в конце защищаемой линии в минимальном режиме

$$k_{\text{ч}}^{\text{II}} = \frac{3I_{0 \text{ к.мин}}^{\text{II}}}{I_{0 \text{ с.з}}^{\text{II}}} \geq 1,5. \quad (33)$$

Допускается уменьшение коэффициента чувствительности до 1,3 при наличии резервирования (третьей ступени), а также проверка условия $k_{\text{ч}}^{\text{II}}$ в каскаде при наличии защиты шин на приемной подстанции.

8. Ток срабатывания отсечки третьей ступени выбирается по условиям отстройки от вторых и третьих ступеней защит смежных линий (аналогично выбору второй ступени), а также по условиям отстройки от максимального тока небаланса при трехфазном КЗ за трансформатором приемной подстанции:

$$I_{0 \text{ с.з}}^{\text{III}} = k_3 k_{\text{пер}} k_{\text{нб}} I_{\text{к.макс}}^{(3)}, \quad (34)$$

где k_3 — коэффициент запаса по избирательности;

$k_{\text{пер}}$ — коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме, принимается равным 2 при выдержке времени рассматриваемой ступени до 0,1 с; 1,5 — до 0,3 с; 1 — свыше 0,5—0,6 с;

$k_{\text{нб}}$ — коэффициент небаланса (соответствует относительной наибольшей погрешности с трансформаторов тока), зависит от кратности тока КЗ по отношению к номинальному току ТТ, принимается равным 0,05 — при кратности $I_{\text{к}}$ до $3 I_{1 \text{ ном. ТТ}}$; 0,1 — при больших кратностях.

Ток срабатывания третьей ступени должен быть также отстроен от броска намагничивающего тока (см. п. 2.3.4).

9. Выдержка времени отсечки третьей ступени принимается на ступень селективности больше выдержек времени тех ступеней защит, от которых произведена отстройка.

Третьи ступени защит выполняются, как правило, с органом направления мощности.

10. Чувствительность третьей ступени защиты проверяется при металлическом однофазном повреждении в конце смежного участка (в каскаде)

$$k_{\text{ч}}^{\text{III}} = \frac{3I_{0 \text{ мин}}}{I_{0 \text{ с.з}}^{\text{III}}} \geq 1,2. \quad (35)$$

Если чувствительность третьей ступени окажется недостаточной или по условиям согласования защит требуется введение промежуточной ступени, то в этих случаях защита выполняется четырехступенчатой. Выбор уставок срабатывания четвертой ступени производится так же, как и для третьей ступени.

11. При расчете защит от замыканий на землю для участка сети первоначально рассчитываются уставки первых ступеней всех защит, а затем последовательно уставки вторых и третьих ступеней защит отдельных линий. Рассчитанные уставки наносятся на кривые спада тока $3I_0$, после чего строятся токовременные характеристики защит (см. § 8.4).

Лекция 7. Особенности выбора уставок защиты на параллельных линиях

Для параллельных линий уставки защит со стороны одной подстанции (*ПА* или *ПБ*, рис. 8, б) одинаковы для каждой линии. При этом уставки первых ступеней защит от замыканий на землю получаются грубыми, так как расчетные условия выбора уставок утяжелены вследствие взаимоиндукции между линиями (см. п. 2.3.2 а).

При выборе уставок вторых ступеней наряду с согласованием с земляными защитами отходящих линий часто определяющим является случай согласования с защитой противоположного конца параллельной линии в режиме каскадного отключения КЗ (для защиты *ПА* согласование с защитой *ПБ* параллельной линии в режиме каскадного отключения КЗ у *ПА*, точка

$KЗ'$, рис. 8, б). В этом режиме также вследствие взаимоиндукции коэффициент токораспределения $k_{ток} = 3I_{0пар}/3I_{0к}$ достигает 0,5—0,7, и условия согласования с защитой противоположного конца параллельной линии получаются неудовлетворительными

$$I_{0A}^{II} = k_3 k_{ток} I_{0B}^I = (0,6 - 0,8) I_{0B}^I.$$

Соответственно для защиты противоположного конца линии (каскадное отключение КЗ у шин $ПБ$) имеем

$$I_{0B}^{II} = k_3 k_{ток} I_{0A}^I = (0,6 - 0,8) I_{0A}^I,$$

т.е. уставки вторых ступеней не намного меньше уставок первых ступеней и не обеспечивают необходимой чувствительности.

Для обеспечения чувствительности и избирательности на одной из подстанций, связанных параллельными линиями, вводится промежуточная (вторая) ступень защиты, которая, не защищая всей линии, используется для согласования уставок защит. Эта промежуточная ступень устанавливается на стороне, где вторая грубая ступень имеет большую защищаемую зону (например, на $ПА$). После чего вторая ступень противоположного конца линии (на $ПБ$) согласуется с этой промежуточной ступенью и имеет соответственно большую выдержку времени.

В результате обычно на параллельных линиях защиты выполняются четырехступенчатыми, где третьи и четвертые ступени обеспечивают защиту своей и смежной линии соответственно.

4. Отстройка от броска намагничивающего тока

Бросок намагничивающего тока возникает на выходе фильтра токов нулевой последовательности при одновременном включении фаз выключателя линии, питающей трансформаторы (автотрансформаторы) с эффективно заземленной нейтралью. Различают однофазное, двухфазное и трехфазное включения.

При однофазном включении (одна фаза включается раньше двух других, включающихся одновременно) в нейтрали трансформатора возникает однополярный бросок тока намагничивания.

При двухфазном включении (раньше одновременно включаются две фазы, а затем третья) в нейтрали трансформатора возникает периодический бросок намагничивающего тока.

Случай разновременного включения всех трех фаз, являющийся расчетным для группы однофазных трансформаторов.

Ток срабатывания защиты по условиям отстройки от броска намагничивающего тока при различных видах включения

$$I_{0 \text{ с.з}} = \frac{U_{\text{ном}} C_{\text{б}}^{(к)}}{\sqrt{3} x_{\text{расч}}}, \quad (36)$$

где $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение сети;

$C_{\text{б}}^{(к)}$ — коэффициент затухания броска тока при данном виде включения (к);

$x_{\text{расч}} = x_{1\text{СИСТ}} + x_{1\text{Л}} + x_{\text{Т}}^{(1)}$ — расчетное сопротивление контура включения трансформатора, приведенное к напряжению сети.

Коэффициент затухания броска зависит от вида включения, марки стали трансформатора и отношения полного времени отключения соответствующей ступени защиты $t_{\text{с.з}}$ к расчетной постоянной времени $\tau_{\text{расч}}$ контура включения. На рис. 2.10 приведена зависимость коэффициента затухания броска тока намагничивания трансформатора от времени для холоднокатаной стали.

Расчетная постоянная времени зависит от соотношения результирующего активного и индуктивного сопротивлений контура включения $\tau_{\text{расч}} = x_{\text{расч}}/(\omega r_{\text{расч}})$. Для ориентировочных расчетов можно принимать с запасом для сети 110 кВ $\tau_{\text{расч}} = 125$ мс, для сети 220 кВ — $\tau_{\text{расч}} = 250$ мс.

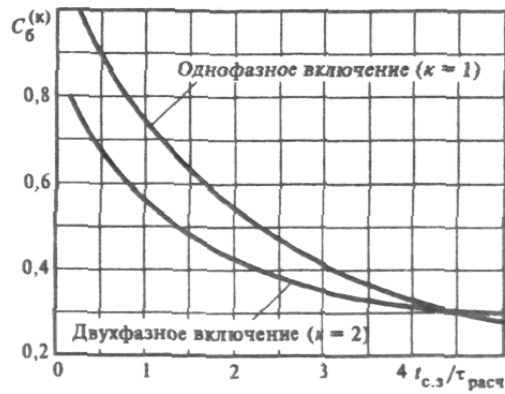


Рис. 10 – Зависимость затухания броска тока намагничивания трансформатора от времени

При использовании реле РТ-40 расчетным является однофазное включение, для реле РНТ-560 — двухфазное.

Расчетные сопротивления трансформаторов при однофазном включении со стороны 110 кВ для трансформаторов всех мощностей определяются по формулам:

$$\text{при } U_{кВС} > U_{кВН} \quad x_T^{(1)} = 3,7 + U_k;$$

$$\text{при } U_{кВС} < U_{кВН} \quad x_T^{(1)} = (13,9 + U_k)/1,38.$$

При включении со стороны 220 кВ относительное сопротивление зависит от типа оборудования:

$$x_T^{(1)} = (12,7 + U_k)/1,35;$$

трансформаторы мощностью до 63 МВА

$$x_T^{(1)} = (21,7 + U_k)/1,35;$$

трансформаторы мощностью 75—125 МВА

$$x_T^{(1)} = (12,7 + U_k)/1,3;$$

автотрансформаторы мощностью 32—63 МВА

$$x_T^{(1)} = (25,7 + U_k)/1,31;$$

автотрансформаторы мощностью 75—180 МВА

$$\text{автотрансформаторы мощностью 200—240 МВА } x_T^{(1)} = (35 + U_k)/1,28.$$

Лекция 8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАЩИТ

1. Особенности выполнения защит

При проектировании релейной защиты электрических станций и подстанций в качестве основного оборудования рассматриваются синхронные генераторы, трансформаторы, автотрансформаторы, синхронные компенсаторы и мощные электродвигатели. На электрических станциях и подстанциях связь между этим оборудованием выполняется короткими участками шинопроводов и ошинок, а распределение и суммирование электроэнергии осуществляется на шинах различного напряжения.

Рассматриваемое оборудование характеризуется высокими концентрациями энергии в единице объема, напряженными режимами работы, не допускающими существенного отклонения от заданных параметров. Кроме того, электрические станции и подстанции являются узловыми точками энергосистемы, повреждения на которых характеризуются высокими значениями токов коротких замыканий, и поэтому ликвидация этих повреждений должна производиться без выдержки времени не только по условиям сокращения объема разрушений, но и по условиям сохранения устойчивости работы энергосистемы. Для локализации повреждений основное оборудование станций и подстанций обеспечивается в необходимом объеме коммутирующими устройствами и датчиками информации. Компактное расположение трансформаторов тока объектов позволяет выполнить быстродействующие защиты основного оборудования в виде продольных дифференциальных токовых защит. Для повышения надежности зоны действия дифференциальных защит отдельных объектов (генераторов, трансформаторов, шин) взаимно перекрываются.

2. Классификация защит основного оборудования

1. В отличие от классификации защит электрических сетей в защитах основного оборудования электрических станций и подстанций необходимо указывать не только вид параметра, на который реагирует защита, но и часть объекта (статор или ротор генератора, обмотка, выводы, корпус трансформатора или автотрансформатора), для которого предназначена защита. Кроме того, защиты различаются не только по виду повреждения (междуфазные КЗ, однофазные КЗ, замыкания на землю), но и по характеру ненормального режима (асинхронный ход, качания, повышения напряжения, перегрузки).

2. По назначению в зависимости от ответственности и порядка действия защиты основного оборудования электрических станций и подстанций разделяют на основные, резервные и защиты, действующие на сигнал.

Основные защиты обеспечивают первоочередное отключение при повреждении на защищаемой части объекта или при режимах, которые могут привести к разрушению оборудования. Основные защиты действуют, как правило, без выдержки времени.

Резервные защиты действуют при отказе основных защит, реагируют на внешние КЗ и работают с выдержкой времени, определяемой условиями избирательности. Резервные защиты действуют при отказах выключателей или защит смежных участков (дальнее резервирование). Кроме того на электрических станциях и крупных подстанциях обязательно применение УРОВ, осуществляющих ближнее резервирование отказов выключателей.

Защиты, действующие на сигнал, информируют оперативный персонал об отклонениях в режимах работы оборудования от нормальных режимов.

Для основного оборудования электрических станций и подстанций разработаны типовые схемы [3, 17—20], содержащие основные, резервные и действующие на сигнал защиты. Число таких типовых схем весьма

значительно, так как учитываются типы оборудования и схемы его включения. При учебном проектировании состав применяемых защит для систематичности изложения будет дан в рекомендательном плане, отражающем основные требования нормативных документов.

Лекция 10. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1. Номенклатура устройств релейной защиты

Защита основного оборудования выполняется с помощью комплексов релейной защиты, выполненных на базе электромеханических устройств и с применением микроэлектроники (статические реле защиты).

Начали применяться комплексы микропроцессорных защит генераторов, блоков генератор—трансформатор, трансформаторов, как правило, производства крупных зарубежных фирм (ABB, Siemens).

Электротехническая промышленность России серийно выпускает следующие виды реле и комплектных устройств для защиты основного оборудования:

реле тока типа РТ-40/Р для применения в схемах УРОВ;

реле тока типа РТ-40/Ф со встроенным фильтром основной частоты для защита генераторов;

реле тока типа РТЗ-51 для применения в схемах защит от замыканий на землю синхронных генераторов, мощных электродвигателей;

реле тока обратной последовательности типов РТФ-8 и РТФ-9 (взамен РТФ-7) для защиты генераторов и трансформаторов при несимметричных КЗ и перегрузке токами обратной последовательности;

реле дифференциальные типов РНТ-565, РНТ-566 с промежуточным насыщающимся трансформатором для дифференциальных защит генераторов, трансформаторов и мощных электродвигателей;

реле дифференциальные типа РНТ-567 с промежуточным насыщающимся трансформатором для дифференциальных защит сборных шин и ошиновок;

реле дифференциальные типа ДЗТ-11 с промежуточным насыщающимся трансформатором с магнитным торможением для дифференциальных защит генераторов, трансформаторов, мощных электродвигателей;

реле напряжения типов РН-53(153) и РН-54(154) для использования в качестве измерительных органов, реагирующих на повышение (РН-53) и понижение (РН-54) напряжения;

реле напряжения типа РНН-57 со встроенным фильтром основной частоты для применения в схемах защит генераторов;

реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М;

блок-реле типа КИВ-500Р входящим в состав устройства контроля состояния изоляции высоковольтных вводов напряжением 500 кВ;

блоки электрические типов БЭ 1101, БЭ 1102, БЭ 1103 для использования в защитах генераторов энергоблоков:

БЭ 1101 — для защиты генераторов при несимметричных КЗ и перегрузок токами обратной последовательности (взамен РТФ-6М); БЭ 1102 — для защиты ротора генератора от перегрузки током возбуждения;

БЭ 1103 — для защиты генератора от симметричных перегрузок обмотки статора;

блоки электрические типов БЭ 1104, БЭ 1105 для защиты цепей возбуждения генераторов и синхронных компенсаторов от замыкания на землю в одной точке;

БЭ 1104 — блок контроля сопротивления изоляции; БЭ 1105 — блок частотного фильтра;

дифференциальные комплекты типов ДЗТ-21, ДЗТ-23 для защиты силовых трансформаторов и автотрансформаторов;

блок типа БРЭ (301 для защиты генераторов от замыкания на землю в обмотке статора генераторов энергоблоков, при этом:

блок исполнения БРЭ 1301.01 (ЗЗГ-11) предназначен для энергоблоков, в нейтрали обмотки статора которых установлен трансформатор напряжения

или дугогасящий реактор; блок исполнения БРЭ 1301.02 (ЗЗГ-12) предназначен для энергоблоков с изолированной нейтралью;

блоки реле сопротивления типа БРЭ 2801 для использования в качестве пусковых или измерительных дистанционных органов в защите генераторов при междуфазных КЗ и асинхронного хода;

панель дистанционной защиты типа ПЭ 2105 для применения в качестве резервной защиты автотрансформаторов;

реле токовые типа РСТ 15 для использования в дифференциальных защитах генераторов и трансформаторов небольшой мощности и электродвигателей.

2. Исходные данные для расчета защит

Для расчета уставок защит основного оборудования станций и мил станций необходимы следующие исходные данные:

- 1) тип защищаемого оборудования, его характеристики и схема включения;
- 2) сопротивления прямой и нулевой последовательностей, применённые к питающей стороне объекта в максимальном и минимальном режимах;
- 3) места установки и типы коммутационной аппаратуры;
- 4) места установки и типы датчиков информации;
- 5) вид и напряжение источника оперативного тока.

СОСТАВ ПРИМЕНЯЕМЫХ ЗАЩИТ

1. Защиты генераторов, работающих на сборные шины

1. *Основные защиты.* Эти защиты реагируют на все виды повреждений генератора и действуют на отключение выключателя и автомата гашения поля (АГП). К основным защитами относятся:

- а) продольная дифференциальная токовая защита от междуфазных замыканий в обмотке статора;

б) максимальная токовая защита (МТЗ) нулевой последовательности от замыканий на землю в обмотке статора;

в) односистемная поперечная дифференциальная токовая защита от замыканий между витками одной фазы;

г) защита от замыканий на землю в цепях возбуждения генератора;

д) защита ротора от перегрузки;

е) защита от повышения напряжения;

ж) защита от асинхронного хода.

2. *Резервные защиты.* Эти защиты резервируют основные защиты генератора и реагируют на внешние КЗ, действуя на отключение с двумя выдержками времени: с первой выдержкой времени отключается выключатель, со второй — вводится АГП. Резервные защиты имеют несколько вариантов исполнения. Наиболее часто резервные защиты выполняются по одному из двух вариантов:

а) МТЗ с комбинированным пуском по напряжению для генераторов мощностью до 30 МВт;

б) МТЗ обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных КЗ для генераторов мощностью 30 МВт и более.

3. *Защиты, действующие на сигнал.* К этим защитами относятся:

а) МТЗ от перегрузки токами обратной последовательности;

б) МТЗ от симметричной перегрузки.

2. Защиты трансформаторов и автотрансформаторов

1. *Основные защиты* реагируют на все виды повреждений трансформатора или автотрансформатора (в дальнейшем — объекта) и действуют на отключение выключателей со всех сторон без выдержки времени. К основным защитами относятся:

а) продольная дифференциальная токовая защита от всех видов замыканий на выводах и в обмотках сторон с заземленной нейтралью, а также

от многофазных замыканий на выводах и в обмотках сторон; с изолированной нейтралью;

б) газовая защита от замыканий внутри кожуха объекта, сопровождающихся выделением газа, а также при резком понижении уровня масла;

в) дифференциальная токовая защита дополнительных элементов (добавочный трансформатор, синхронный компенсатор, участки ошиновки).

2. *Резервные защиты* резервируют основные защиты и реагируют на внешние КЗ, действуя на отключение с двумя выдержками времени: с первой выдержкой времени отключается выключатель одной из сторон низшего напряжения (обычно той, где установлена защита), со второй — все выключатели объекта. Резервные защиты от междуфазных повреждений имеют несколько вариантов исполнения:

а) МТЗ без пуска по напряжению;

б) МТЗ с комбинированным пуском по напряжению;

в) МТЗ обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных КЗ;

г) дистанционные защиты автотрансформаторов.

Резервные защиты от замыканий на землю выполняются в виде МТЗ нулевой последовательности. Выбор варианта резервной защиты рассмотрен в § 6.5.

3. *Защиты, действующие на сигнал.* К этим защитами относятся:

а) защита напряжения нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне низшего напряжения (НН), работающей в режиме с изолированной нейтралью; эта защита применяется при наличии синхронного компенсатора или, когда возможна работа с отключенным выключателем на стороне низшего напряжения;

б) МТЗ от симметричного перегруза для трансформаторов с односторонним питанием устанавливается только со стороны питания (если одна из обмоток имеет мощность 60 %, то защита от перегруза устанавливается и

на этой стороне), для автотрансформаторов и трехобмоточных трансформаторов с двухсторонним питанием защита от перегруза устанавливается на каждой стороне объекта, а для автотрансформаторов еще и на стороне нулевого вывода общей части обмотки; защита выполняется с токовым реле в одной фазе и независимой выдержкой времени, действующей на сигнал. Уставки выбираются так же, как и для генератора при симметричном перегрузе;

в) газовая защита, действующая на сигнал при медленном выделении газа.

4. Защиты блоков генератор-трансформатор и генератор-автотрансформатор

1. *Основные защиты* реагируют на все виды повреждений энергоблока и действуют на отключение всех выключателей энергоблока и ввод АГП. Для энергоблоков мощностью 150 МВт и выше одновременно даются команды на останов турбины и гашение котла. В качестве основных защит могут быть применены:

а) отдельная продольная дифференциальная токовая защита генератора от междуфазных повреждений в обмотке статора;

б) продольная дифференциальная токовая защита трансформатора от всех видов замыканий на выводах и в обмотках с эффективнозаземленной нейтралью, а также от междуфазных замыканий на выводах и в обмотках с изолированной нейтралью;

в) общая продольная дифференциальная токовая защита энергоблока от всех видов замыканий на выводах и обмотках с эффективнозаземленной нейтралью, а также от междуфазных замыканий на выводах и в обмотках с изолированной нейтралью трансформаторов и в обмотках статора генераторов; для энергоблоков мощностью свыше 150 МВт эта защита может применяться в качестве резервной к защитах подп. а и б;

г) односистемная поперечная дифференциальная токовая защита статора генератора от замыканий между витками одной фазы;

д) газовая защита от замыканий внутри кожуха трансформатора или автотрансформатора, сопровождающихся выделением газа, а также при резком понижении уровня масла;

е) продольная дифференциальная токовая защита ошиновки стороны ВН от всех видов КЗ на выводах и ошиновке при напряжении 330—500 кВ;

ж) защита от повышения напряжения генератора с токовой блокировкой, которая устанавливается на энергоблоках мощностью 150 МВт и выше;

з) защита от замыканий на землю в обмотке статора;

и) защита от асинхронного хода;

к) защита от перегрузки ротора;

л) защита от повреждений вводов 500 и 750 кВ трансформаторов и автотрансформаторов.

2. *Резервные защиты* обычно резервируют основные защиты энергоблока и реагируют на внешние КЗ, действуя на отключение с двумя выдержками времени: с первой выдержкой времени отключаются выключатели энергоблока с одновременным переводом тепловой части энергоблока в режим холостого хода; со второй выдержкой времени вводится АГП, производится останов турбины и гашение котла. В качестве резервных защит применяются:

а) токовая защита обратной последовательности для действия при несимметричных КЗ и несимметричном перегрузе генератора;

б) дистанционная защита для действия при междуфазных КЗ;

в) МТЗ нулевой последовательности от замыканий на землю на сторонах с глухозаземлённой нейтралью (может выполняться направленной).

3. *Защиты, действующие на сигнал.* К этим защитами относятся:

а) МТЗ генератора от перегрузки токами обратной последовательности;

б) МТЗ от симметричной перегрузки блока; выполняется так же, как II защита генератора от симметричного перегруза;

в) защита от замыканий на землю в цепях возбуждения генератора;

г) защита максимального напряжения нулевой последовательности от замыканий на землю на генераторной стороне энергоблока;

д) газовая защита, действующая на сигнал при медленном выделении газа.

Лекция 11. ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРОВ

ПРОДОЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ОБМОТКЕ СТАТОРА

1. Основные условия выбора типов защит

Эти условия определяют расчетные режимы и требования, предъявляемые к защите в зависимости от параметров генераторов.

Для выбора тока срабатывания защиты по условиям отстройки от тока небаланса при внешних КЗ рассматривается трехфазное КЗ на шинах генераторного напряжения. (Иногда в качестве расчетного рекомендуется режим несинхронного включения генератора [3], однако такое включение генератора практически не применяется). Чувствительность защиты проверяется при двухфазном КЗ на выводах генератора в режиме его опробования.

Ток срабатывания защиты согласуется с номинальным током генератора в зависимости от его мощности.

При мощности генератора до 50 МВт на практике [1] используется схема дифференциальной защиты с применением токового реле РТ-40 и добавочного сопротивления 10 Ом в дифференциальной цепи защиты. При новых проектных решениях рекомендуется реле типа РНТ-560.

При мощности генератора до 100 МВт используются дифференциальные реле типа РНТ-560, рекомендуется для повышения чувствительности защиты принимать уставку срабатывания от 0,5 до 0,6 номинального тока генератора ($I_{сзг} = (0,5—0,6)I_{ном}$). Для исключения ложного срабатывания защиты при обрыве в ее токовых цепях (если это возможно в особых условиях

эксплуатации и при обеспечении необходимой чувствительности) ток срабатывания может быть увеличен до $I_{с.з.г} = (1,3-1,4)I_{г.ном}$

Для генераторов с форсированным охлаждением мощностью свыше 100 МВт рекомендуется снижать ток срабатывания защиты до $0,1I_{г.ном}$.

С этой целью в схеме дифференциальной защиты используется реле с магнитным торможением типа ДЗТ-11.

Включение тормозной обмотки целесообразно производить со стороны выключателя генератора.

2. Расчет уставок срабатывания защиты и реле

Расчет уставок срабатывания защиты целесообразно выполнять в именованных единицах, приведенных к той ступени напряжения, для которой выполнялись расчеты токов короткого замыкания.

1. Ток срабатывания защиты выбирается по двум расчетным условиям:

а) отстройка от тока небаланса дифференциальной защиты, возникающего при внешних КЗ:

$$I_{с.з} \geq k_3 I_{нб.расч} \quad (1)$$

$$I_{нб.расч} = k_{пер} k_{одн} \varepsilon I_{к.макс}^{(3)}$$

где $k_3 = 1,3$ — коэффициент запаса по избирательности для реле РНТ-560; $A = 1,0$ — коэффициент, учитывающий влияние апериодической составляющей при переходном процессе КЗ, для реле РНТ-560 и ДЗТ-11; k_n — коэффициент однотипности трансформаторов тока (ТТ), принимаемый для однотипных ТТ равным 0,5 и для разнотипных — 1,0; $\varepsilon = 0,1$ — относительная наибольшая полная погрешность ТТ, соответствующая току кгмагничивания в установившемся режиме КЗ.

Ток генератора при внешнем трехфазном КЗ может быть определен по выражению

$$I_{к.макс}^{(3)} = U_{ср.ном} / (\sqrt{3} x_{г.ср.ном}), \quad (2)$$

где $X_{гсрном}$ — сверхпереходное сопротивление генератора, приведенное к расчетному напряжению $U_{ср.ном}$;

б) согласование с номинальным током генератора

$$I_{с.з} \geq k_c I_{г.ср.ном} \quad (3)$$

где k_c — коэффициент согласования, выбирается в соответствии с рекомендациями п. 5.1.1 из основных условий выбора защиты; $I_{гсрном}$ — номинальный ток генератора, приведенный к расчетному напряжению верном

Ток срабатывания защиты выбирается по большему из значений, найденных по выражениям (1) и (3). Для генераторов мощностью свыше 100 МВт ток срабатывания защиты принимается по условию «1б»

($I_{с.з} = 0,1 I_{гср.ном}$), а отстройка от условия «1а» обеспечивается соответствующим выбором числа витков тормозной обмотки реле ДЗТ-11.

2. Ток срабатывания реле определяется по найденному току срабатывания защиты:

$$I_{с.р} = \frac{I_{с.з} U_{ср.ном} / U_{г.ном}}{K_{Iг}}, \quad (4)$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение генератора; $K_{Iг}$ — коэффициент трансформации ТТ генератора, выбирается по номинальному току генератора.

3. Для реле типов РНТ-560 и ДЗТ-11 расчетное число витков рабочей обмотки

$$w_{расч} = F_{с.р} / I_{с.р}, \quad (5)$$

где $F = 100$ А — магнитодвижущая сила (МДС) срабатывания реле РНТ-560 и ДЗТ-П (при отсутствии торможения). Если расчетное число витков оказывается дробным, то к установке на реле принимается ближайшее меньшее целое значение, а затем последовательно по уравнениям (5) и (4) уточняется ток срабатывания реле и ток срабатывания защиты. Практически при использовании реле ДЗТ-11/5 число витков рабочей обмотки принимается наибольшим и равным 144.

4. При использовании реле ДЗТ-11 число витков тормозной обмотки принимается по выражению:

$$w_{\text{торм}} = \frac{k_3 I_{\text{нб.расч}} w_{\text{раб}}}{I_{\text{к макс}}^{(3)} \operatorname{tg} \alpha}, \quad (6)$$

где $k_3 = 1,5$ — коэффициент запаса по избирательности реле ДЗТ; $\operatorname{tg} \alpha = 0,75$ — тангенс угла наклона к оси абсцисс касательной к расчетной по избирательности тормозной характеристике реле ДЗТ-11 (при $F > 150$ А). Если число витков тормозной обмотки оказывается дробным, то принимается ближайшее большее целое число витков.

5. Чувствительность защиты может быть определена как по первичным токам при КЗ на выводах генератора

$$k_{\text{ч}} = I_{\text{р.к}} w_{\text{раб}} / F_{\text{ср}} \geq 2,0,$$

так и по вторичным токам в реле

$$k_{\text{ч}} = I_{\text{к}}^{(2)} / I_{\text{с.з}} \geq 2,0,$$

где $I_{\text{к}}$ определяется по значению $I_{\text{к}}^{(2)}$ в соответствии с выражением (4).

Лекция 12. ПОПЕРЕЧНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА

Односистемная поперечная дифференциальная защита применяется при выполнении обмотки статора генератора в виде двойной звезды и действует при межвитковых замыканиях в обмотке статора. Трансформаторы тока защиты устанавливаются в цепи, соединяющей нейтрали звезд. Ко вторичной обмотке ТТ подключается токовое реле типа РТ-40/Ф, отстроенное от токов третьих и высших гармоник.

Ток срабатывания защиты выбирается из условия отстройки от тока небаланса, обусловленного неравенством ЭДС параллельных ветвей и

искажением формы кривой фазных ЭДС генератора. Наличие фильтра в реле позволяет выбирать ток срабатывания защиты по формуле:

$$I_{с.з} = (0,2 - 0,3) I_{г.ном}.$$

Учитывая отсутствие тока в нейтрали, в нормальном режиме коэффициент трансформации ТТ выбирается по условию

$$K_I = 0,25 I_{г.ном} / 5.$$

Чувствительность защиты зависит от числа замкнувшихся витков и при выборе уставок не оценивается. Защита действует на отключение генератора без выдержки времени.

ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ОБМОТКЕ СТАТОРА

1. Особенности выполнения защиты

Эти защиты выполняются на основе применения трансформаторов тока нулевой последовательности шинного (ТНПШ) или кабельного типов. У ТНПШ применяется подмагничивание сердечника переменным током для повышения чувствительности. Схема защиты (рис. 5.1, а) содержит трансформатор тока TAI типа ТНПШ, в токовую цепь которого включены реле KAT и KAZ . Реле KAT типа РНТ-560 действует без выдержки времени при двойных замыканиях на землю. Реле KAZ типа РТЗ-51 действует с выдержкой времени при замыканиях на землю и блокируется с помощью реле KA при междуфазных КЗ.

Так как магнитопровод ТНПШ охватывает все три шины генератора, его длина во много раз превышает длину магнитопровода обычного ТТ. Это приводит к увеличению тока намагничивания, снижению в несколько раз параллельного сопротивления ветви намагничивания и в целом, увеличению погрешности трансформатора тока. Поэтому соотношение между первичным I_n и вторичным I_{II} токами ТНПШ обусловлено не только коэффициентом трансформации по виткам первичной и вторичной обмоток $Kj = w_B / w_n = w_B$

при ($w_n = 1$), но и с учетом отсоса тока в ветвь намагничивания $P_{отс} = (z_{\cdot} + z_{НаМ})/z_{ном}$ (рис. 5.1, б)

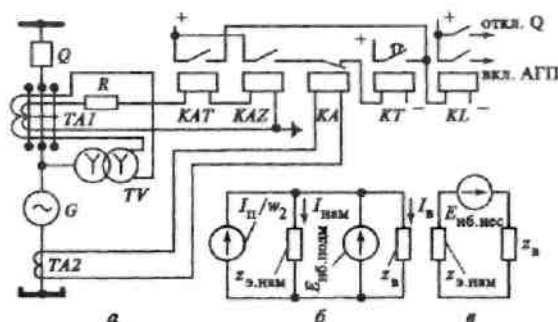


Рис. 5.1. Принципиальная схема (а) и схемы замещения (б, в) токовой цепи ТНПШ

$$I_{II} = w_B n_{отс} I_B \quad (1)$$

Для ТНПШ различных типов $z_{э.нам} = 10$ Ом, и $w_B = 39$ витков. Кроме того, у ТНПШ во вторичной цепи появляются дополнительные составляющие тока небаланса, обусловленные неполной компенсацией ЭДС от обмоток подмагничивания $E_{нб.подм}$ ЭДС $E_{нб.нес}$ возникающей из-за несимметричного расположения фазных шин в окне ТНПШ. Первая ЭДС определяется конструктивным выполнением и для ТНПШ различных типов может быть принята $E_{нб.подм} = 0,1$ В. Вторая ЭДС небаланса зависит от конструкции и первичного тока. Для ТНПШ типов 1, 2, 3, 3у с номинальными токами 1,75; 3,0; 4,5 и 7,5 кА ЭДС $E_{нб.нес}$ составляет соответственно 0,06; 0,085; 0,1; 0,15 В.

2. Расчет уставок срабатывания защиты и реле

Выбор параметров срабатывания защиты не связан с расчетом токов короткого замыкания, и поэтому расчет уставок выполняется для номинальных параметров генератора по первичным и вторичным цепям.

1. Ток срабатывания блокирующего реле KA отстраивается от номинального тока генератора

$$I_{с.бл} = (k_z / k_B) I_{Г.ном} \quad (2)$$

где $\kappa_3 = 1,2$ — коэффициент запаса по избирательности; $\kappa_g = 0,85$ — коэффициент возврата реле.

2. Ток небаланса, приведенный ко вторичной цепи, определяется с учетом схем замещения (рис. 5.1, б, в):

$$I_{\text{нб.в}} = \frac{k_{\text{бл}} E_{\text{нб.нес}}}{z_{\text{з.нам}} + z_{\text{в}}} + \frac{E_{\text{нб.подм}}}{z_{\text{в}}}, \quad (3)$$

Для уменьшения тока небаланса в режиме отсутствия намагничивания (обрыв проводов), когда во вторичную цепь включено дополнительное сопротивление R для того, чтобы $z_{B\sim} \sim \Gamma_{\text{нам}}$. При использовании реле РНТ-565 и РТЗ-51 их суммарное активное сопротивление около 1 Ом, а $R = 9$ Ом.

3. Ток небаланса, приведенный к первичной цепи, находится в соответствии с уравнением (3)

$$I_{\text{нб.п}} = w_{\text{в}} n_{\text{отс}} I_{\text{нб.в}}$$

4. Емкостный ток генератора в установившемся режиме при замыкании одной фазы сети на землю

$$I_{\text{ГС}} = 3\omega C_{\text{Г}} U_{\text{Г.НОМ}} / \sqrt{3},$$

где $C_{\text{Г}}$ — емкость обмотки статора по отношению к земле, Ф; $U_{\text{Г.НОМ}}$ — в вольтах.

В значение $I_{\text{ГС}}$ и $C_{\text{Г}}$ для некоторых типов турбогенераторов приведены в табл. 1.

Таблица 1 Параметры турбогенераторов и величины /г с

Тип турбогенератора	Номинальное напряжение, кВ	Утроенная емкость обмотки статора,	Емкостный ток, А
ТВС-32 УЗ	6,3	0,54	0,617
ТВС-32 УЗ	10,5	0,54	1,03
ТВФ-63-2	6,3	0,52	0,59
ТВФ-63-2	10,5	0,61	1,16
ТВФ-120-2	10,5	0,72	1,37
ТВВ-160-2	18	0,462	1,51

5. Ток срабатывания защиты, действующей при однофазных замыканиях, отстраивается от броска емкостного тока генератора и тока небаланса ТНПШ:

$$I_{с.з.КАЗ} = k_3(k_{пер} I_{ГС} + k'_3 I_{нб.п}), \quad (4)$$

где $k_3 = 1,3$ — коэффициент запаса по избирательности; $k_{пер} = 2$ — коэффициент переходного процесса, обусловленного броском емкостного тока, при $I_{с.з.} > 1$ с $k_{пер} = 1,0$ — коэффициент запаса на погрешность расчета тока небаланса.

6. Ток срабатывания реле защиты от однофазных замыканий определяется в соответствии с уравнением (5.8)

$$I_{с.р.КАЗ} = I_{с.з.КАЗ} / (w_n n_{отс}).$$

Полученное значение тока срабатывания реле должно находиться в пределах диапазона уставок реле РТЗ-51, равном 0,02—0,12 А. Заметим, что уменьшение или увеличение тока срабатывания может быть достигнуто соответственно увеличением или снижением сопротивления R .

Лекция 13. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С КОМБИНИРОВАННЫМ ПУСКОМ ПО НАПРЯЖЕНИЮ

Эта защита предназначается в качестве резервной от междуфазных повреждений генератора и применяется при мощности генератора до 50 МВт. Защита состоит из трех токовых реле, включенных на фазные токи и двух блокирующих реле напряжения, включенных на междуфазное напряжение и напряжение обратной последовательности.

1. Ток срабатывания защиты выбирается из условия отстройки от номинального тока генератора

$$I_{с.з.} = (k_3 / k_в) I_{г.ном}, \quad (5)$$

где $k_2 = 1,1—1,2$ — коэффициент запаса по избирательности; $k_в = 0,8$ — коэффициент возврата токового реле РТ-40.

При выполнении курсового проекта все расчеты удобно вести для токов, приведенных к расчетной ступени напряжения:

$$I_{с.з} = (k_3/k_B) I_{Г.ср.ном} \quad (6)$$

2. Уставка срабатывания блокирующего реле, включенного на междуфазное напряжение, отстраивается от минимального рабочего напряжения:

$$U_{с.з} = k_3 U_{раб.мин}$$

где $k_3 = 0,6$ — коэффициент запаса по избирательности для минимальной защиты

$$U_{раб.мин} = 0,9 U_{ном.эксп}$$

3. Уставка срабатывания блокирующего реле, включенного на напряжение обратной последовательности, отстраивается от напряжения небаланса $\sqrt{2}nб$ нормального режима и может быть выбрана по формуле

$$U_{2с.з} = k_3 U_{2нб}$$

где $k_3 = 1,2$ — коэффициент запаса по избирательности для максимальной защиты.

Практически удобно воспользоваться приближенной формулой

$$U_{2с.з} = 0,06 U_{Г.ном}$$

где $U_{Г.ном}$ — междуфазное номинальное напряжение генератора.

4. Чувствительность защиты проверяется при КЗ в конце смежного участка (точка К2, рис. 5.2).

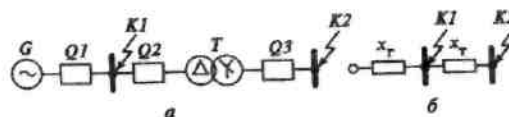


Рис. 5.2. Поясняющая схема (а) и схема замещения (б) к расчету резервной защиты генератора

а) Для токового органа коэффициент чувствительности может быть определен упрощенно — по двухфазному КЗ за трансформатором

$$k_{чI} = I_{к.мин(K2)}^{(2)} / I_{с.з} \geq 1,2.$$

б) Для органа блокировки по напряжению при симметричных повреждениях коэффициент чувствительности проверяется при трехфазных КЗ за трансформатором

$$k_{чU_1} = U_{с.з} / U_{к.макс} \geq 1,2,$$

в) Для органа блокировки по напряжению при несимметричных повреждениях коэффициент чувствительности проверяется при двухфазном КЗ за трансформатором (точка K2, рис. 2)

$$k_{чU_2} = U_{23.мин} / U_{с.з} \geq 1,5,$$

Если чувствительность блокировки по напряжению оказывается недостаточной, то реле напряжения следует присоединять к трансформаторам напряжения тех шин, где чувствительность оказывается недостаточной.

5. Ток срабатывания сигнального органа защиты выбирается из условия отстройки от номинального тока генератора

$$I_{сигн} = (k_3 / k_B) I_{г.ном},$$

где $K_3 = 1,05$ — коэффициент запаса по избирательности; $k_B = 0,85$ — коэффициент возврата реле.

Напомним, что при определении коэффициентов чувствительности расчетные параметры должны быть приведены к одной и той же ступени напряжения.

6. Выдержка времени сигнального органа отстраивается от времени действия резервных защит сети.

МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ С ПРИСТАВКОЙ ДЛЯ ДЕЙСТВИЯ ПРИ СИММЕТРИЧНЫХ КЗ

1. Особенности выполнения защиты

Эта защита предназначается в качестве резервной от междуфазных повреждений и защищает ротор генератора от перегрева токами обратной последовательности.

Выбор типа защиты зависит от параметров генератора и схемы его присоединения. Для генераторов, работающих на сборные шины мощностью от 30 до 50 МВт включительно используется фильтр-реле типа РТФ-9 (взамен ранее выпускающихся фильтр-реле РТФ-7). Фильтр-реле типа РТФ-9 имеет два реагирующих органа: отсечку с током срабатывания $(0,4—1,6)I_{\text{ном}}$ и сигнальный орган с током срабатывания $(0,04—0,16)I_{\text{ном}}$. Для турбогенераторов большей мощности, обычно работающих в блоке с трансформатором (автотрансформатором), применяются токовые защиты обратной последовательности с зависимой от тока выдержкой времени, рассмотренные в п. 7.3.3.

Допустимый перегрев ротора токами обратной последовательности характеризуется тепловой постоянной A генератора, численно равной

Таблица 3. Значение тепловой постоянной A для некоторых типов генераторов и гидрогенераторов

Тип	Охлаждение	Тепловая постоянная A , с
Турбогенератор ТВ-2	Косвенное	29
Турбогенератор ТВ	То же	20
Турбогенератор ТВФ	Непосредствен	15
Турбогенераторы ТТВ,	То же	8
ТВВ-320-2 без	»	5
успокоительных обмоток		
Турбогенераторы ТВ В-	в	6
1000-4, ТВВ-1200-2		
Гидрогенераторы	Косвенное	40
Гидрогенераторы	Непосредствен	20

допустимому времени работы генератора с током обратной последовательности, равным номинальному току статора генератора. Значения постоянной A для некоторых типов генераторов приведены в табл.3.

Для действия при симметричных КЗ токовая защита обратной последовательности дополняется приставкой, состоящей из двух реле: токового реле, включенного на ток фазы, и реле напряжения, включенного на междуфазное напряжение.

2. Расчет уставок срабатывания

1. Ток срабатывания органа защиты, действующего на отключение, определяется тепловой постоянной A генератора и допустимым временем устранения ненормального режима $I_{\text{доп}} = 120$ с:

$$I_{2 \text{ с.з.}} = \sqrt{A / t_{\text{доп}}} I_{\text{Г.ном.}}$$

Обычно можно принять $I_{2 \text{ с.з.}} = (0,4 \text{ — } 0,5) I_{\text{Г.ном.}}$

2. Чувствительность защиты проверяется при двухфазном КЗ в конце зоны резервирования, т.е. при КЗ на шинах среднего или высшего напряжения станции:

$$k_{\text{ч.з.}} = I_{2 \text{ к}}^{(2)} / I_{2 \text{ с.з.}} \geq 2.$$

3. Выбор параметров приставки, действующей при симметричных КЗ, производится так же, как и для МТЗ с блокировкой по напряжению.

4. Ток срабатывания сигнального органа защиты выбирается из условия отстройки от тока небаланса фильтр-реле и может определяться как

$$I_{2 \text{ с.гн.}} = 0,1 I_{\text{Г.ном.}}$$

Лекция 14. ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА

Дифференциальные защиты типа ДЗТ-21 предназначены для использования в качестве основной защиты силовых трансформаторов, автотрансформаторов и блоков генератор-трансформатор, генератор-автотрансформатор при всех видах КЗ.

Исполнение защиты трехфазное с общим выходом трех фаз у ДЗТ-21 и пофазным выходом у ДЗТ-23, позволяющим ее использование в качестве основной защиты группы однофазных силовых трансформаторов или автотрансформаторов.

Использование в защите новых принципов отстройки от бросков намагничивающего тока силовых трансформаторов (автотрансформаторов) и переходных токов небаланса в сочетании с использованием торможения от токов плеч защиты для отстройки от установившихся и переходных токов небаланса позволяет снизить минимальную уставку по току срабатывания

защиты до $0,3 I_{ном}$ трансформатора. Такая чувствительность обеспечивает выполнение пункта Ш-2-21-4 ПУЭ [15] для трансформаторов и автотрансформаторов и блоков генератор-трансформатор любой мощности.

Использование полупроводниковой элементной базы позволило кроме увеличения чувствительности в ряде случаев уменьшить потребляемую защитой мощность по цепям переменного и постоянного тока и повысить быстродействие по сравнению с широко применяемыми в настоящее время дифференциальными защитами на электромеханических реле типов РНТ-560 и ДЗТ-11.

Специальное выполнение входных цепей по переменному току обеспечивает правильную работу защиты при погрешности трансформаторов тока до 40%. С учетом низкой потребляемой мощности в цепях переменного тока это может при необходимости облегчить выбор трансформаторов тока для дифференциальной защиты типа ДЗТ-21 (ДЗТ-23) по кривым предельных кратностей.

Защита типа ДЗТ-21 предназначена для работы при питании ее от сети постоянного оперативного тока напряжением 220 или 110В и от блоков питания с номинальным выходным напряжением выпрямленного тока 110В.

Защита ДЗТ-20 обеспечивают торможение ("процентное") от арифметической полусуммы фазных токов двух групп трансформаторов тока. При необходимости иметь торможение от трех или четырех групп трансформаторов тока используются одна или две трехфазные приставки дополнительного торможения типа ПТ-1, которые должны поставляться комплектно с защитой (не более 2 шт.).

Защита ДЗТ-20 выполнена на вторичный номинальный ток 5 А.

Защита ДЗТ-20, приставки дополнительного торможения и выравнивающие автотрансформаторы выполняются для нужд народного хозяйства и на экспорт в страны с умеренным климатом в исполнении УЗ, для стран с тропическим климатом — ТЗ.

Регулирование минимального тока срабатывания защиты (при отсутствии торможения) осуществляется в пределах от 0,3 до 0,7 номинального тока ответвления (например, от 1,5 до 3,5 А при номинальном токе ответвления 5 А).

Номинальные токи ответвления (кроме основного) определяются из условия, что при подведении этого тока к соответствующему ответвлению он создает такую же магнитодвижущую силу, как и при подведении номинального тока к ответвлению, принятому за основное.

Коэффициент возврата защиты составляет не менее 0,6.

Защита на минимальной установке по току срабатывания ($0,3 I_{отв,ном}$) обеспечивает отстройку от бросков намагничивающего тока с аperiodической составляющей и амплитудой, превышающей амплитуду номинального тока ответвления в 6—8 раз.

Защита на минимальной уставке по току срабатывания ($0,3 I_{отв,ном}$) обеспечивает отстройку от периодических токов включения с амплитудой, превышающей амплитуду номинального тока ответвления до 2 раз.

Время срабатывания при двухкратном токе срабатывания и отсутствии торможения составляет не более 0,033 с без выходного реле и не более 0,045 с—с выходным реле.

Схема входных цепей защиты обеспечивает выравнивание действия токов плеч для дифференциальной цепи в диапазоне токов от 2,5 До 5 А.

Максимальная погрешность выравнивания для дифференциальной цепи защиты при неиспользовании выравнивающих автотрансформаторов в диапазоне 5—2,5 А не превышает 10% (при выравнивании токов двух сторон).

.Выравнивающие автотрансформаторы допускают длительное протекание тока, равного трем номинальным токам ответвлений, но не менее 1,2 и не более 10 А.

Дифференциальные и тормозные цепи защиты, а также тормозная приставка выдерживают длительное протекание тока 10 А на всех ответвлениях.

Односекундная термическая стойкость защиты, тормозной приставки и выравнивающих автотрансформаторов составляет не менее сорокакратного номинального тока ответвления, но не менее 20 и не более 200 А.

Токовая погрешность выравнивающих автотрансформаторов не превышает 5% при двадцатикратном токе ответвления и подключении цепей защиты ко вторичной обмотке выравнивающих автотрансформаторов.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ТИПА ДЗТ-20

Отстройка защиты ДЗТ-20 от бросков тока намагничивания. Бросок тока намагничивания возникает в трансформаторе при включении его под напряжением или при восстановлении напряжения при отключении внешнего КЗ. В защите ДЗТ-20 принцип отстройки от броска тока намагничивания основан на одновременном использовании двух характерных свойств этого тока — наличия в нем в течение каждого периода значительных бестоковых пауз и второй гармонической слагающей. По наличию этих признаков и осуществляется блокирование защиты от броска тока намагничивания в защите ДЗТ-20.

Поэтому в защите ДЗТ-20 применен комбинированный метод блокирования защиты при проявлении в кривой тока пауз заданной длительности в сочетании с торможением во второй гармонике дифференциального тока. Благодаря такому сочетанию обеспечиваются высокие чувствительность и быстродействие защиты.

Пример1. Расчет защиты ДЗТ-21.

Таблица 5. 1 – Расчет защиты ДЗТ-21

	Наименование и метод определения	Обозначение и метод определения	Числовое значение для стороны		
			110 кВ	35 кВ	10 кВ
1	2	3	4	5	6
1	Первичные токи на сторонах защищаемого трансформатора, соответствующие его проходной мощности, А	$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ прох}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}$	$\frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52$	$\frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 156$	$\frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 11} = 524$
2	Коэффициент трансформации трансформаторов тока	K_I	300/5	300/5	800/5
3	Соединение трансформаторов тока		Δ	Δ	Y
4	Вторичные токи в плечах защиты, соответствующие проходной мощности защищаемого трансформатора, А	$I_{\text{НОМ.В}} = \frac{I_{\text{НОМ}} \cdot K_{\text{СХ}}}{K}$	$\frac{52 \cdot \sqrt{3}}{300/5} = 1,5$	$\frac{156 \cdot \sqrt{3}}{300/5} = 4,5$	$\frac{524 \cdot 1}{800/5} = 3,27$

Продолжение таблицы 5. 1

1	2	3	4	5	6
5	Номинальный ток принятого ответвления трансреактора реле на основной стороне, А	По (5.4) /18/ $I_{отв.ном.осн} < I_{ном.в.осн}$	2,5	-	-
6	Расчетный ток ответвления автотрансформаторов тока на неосновных сторонах, А	$I_{отв.расч.неосн.} = I_{ном.в.неосн.} \cdot \frac{I_{отв.ном.осн}}{I_{ном.в.осн}}$	-	$4,5 \cdot \frac{2,5}{1,5} = 7,5$	$3,27 \cdot \frac{2,5}{1,5} = 5,45$
7	Тип автотрансформаторов тока, включаемых в плечо защиты	По табл. П5.4 /18/	-	АТ-32	АТ-32
8	Номинальный ток используемого ответвления автотрансформаторов тока к которому подводятся вторичные токи в плечах защиты, А	По табл. П5.4 /18/	-	7,51	5,47

Продолжение таблицы 5. 1

1	2	3	4	5	6
9	Номер используемого ответвления автотрансформатора тока, к которому подводятся вторичные токи в плечах защиты	По табл. П5.4 /18/	-	1-6	1-5
10	Номер используемого ответвления автотрансформаторов тока, к которому подключается реле	По табл. П5.4 /18/	-	1-4	1-4
11	Номинальный ток используемого ответвления автотрансформаторов тока, к которому подключается реле, А	По табл. П5.4 /18/	-	3,63	4,25
12	Номинальный ток принятого ответвления транс реактора реле на неосновных сторонах	По табл. П5.4 /18/	-	3,63	4,25
13	Номер используемого ответвления трансреактора реле	По табл. П5.4 /18/	2	5	3

Продолжение таблицы 5. 1

1	2	3	4	5	6
14	Расчетный ток ответвления промежуточных трансформаторов тока цепи торможения реле, А	$I_{\text{отв.тор.расч.}} = \frac{I_{\text{ном.В}}}{K_{\text{ат}}}$	1,5	$\frac{4,5}{7,51/3,63} = 2,17$	$\frac{3,27}{5,47/4,25} = 1,58$
15	Номинальный ток принятого ответвления приставки и промежуточных трансформаторов тока, А	$I_{\text{отв.торм.ном}}$	2,5	2,5	2,5
16	Номер используемого ответвления приставки и промежуточных трансформаторов тока реле, А	По табл. П5.2 /18/	4	4	4

Таблица 5. 2 – Расчет защиты ДЗТ-21

№ п/п	Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовое значение		
1	2	3	4		
1	Уставка “начало торможения”	$I^*_{\text{торм.нач}}$ (по отношению к номинальному току принятого ответвления промежуточных т.т. цепи торможения)	$I^*_{\text{торм.нач}}=1$		
2	Первичный тормозной ток, соответствующий “началу торможения”, А	$I_{\text{торм.нач}}=0,5 \cdot I_{\text{ном}} \cdot (K_{\text{токI}} \cdot \frac{I_{\text{отв.торм.номI}}}{I_{\text{отв.торм.расчI}}} + K_{\text{токII}} \cdot \frac{I_{\text{отв.торм.номII}}}{I_{\text{отв.торм.расчII}}})$	$0,5 \cdot 52 \cdot (1 \cdot \frac{2,5}{1,5} + 1 \cdot \frac{2,5}{2,17}) = 74,88$		
3	Ток небаланса соответствующий “началу торможения”, А	$I_{\text{нб.торм.нач}} = I_{\text{тор.нач}} \cdot (K_{\text{пер}} \cdot K_{\text{одн}} \cdot E + \Delta U + (\frac{I_{1\text{отв.расч}} - I_{1\text{отв.ном}}}{I_{2\text{отв.расч}}} - \frac{I_{2\text{отв.расч}} - I_{2\text{отв.ном}}}{I_{2\text{отв.расч}}}))$	$74,88 \cdot [(1 \cdot 1 \cdot 0,05 + 0,12 + (\frac{7,5 - 4,5}{7,5}) - (\frac{5,45 - 3,27}{5,45}))] = 12,77$		
4	Первичный минимальный ток срабатывания защиты при отсутствии торможения, А	По условию отстройки от расчетного тока небаланса, соответствующего “наличию торможения”	$I_{\text{сз.min}} > K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб.торм.нач}}$	$1,5 \cdot 12,77 = 19,15$	Принимаем большее $I_{\text{сз.min}} = 19,15$
		По условию отстройки от тока небаланса переходного режима внешнего КЗ.	$I_{\text{сз.min}} > 0,3 \cdot I_{\text{ном}}$	$0,3 \cdot 52 = 15,6$	

Продолжение таблицы 5. 2

1	2	3	4
5	Относительный минимальный ток срабатывания реле при отсутствии торможения (0,3 - 0,7)	<p>За расчетную принимается сторона высшего напряжения в соответствии с п.5.1.4 /18/</p> $I^*c.pmin = \frac{I_{сз.min} \cdot K_{сх}}{K_1 \cdot I_{отв.ном}}$	$\frac{19,15 \cdot \frac{115}{37,5} \sqrt{3}}{300/5 \cdot 4,5} = 0,376$ <p>Принимаем $I^*c.p.min=0,3$</p>
6	Максимальный расчетный ток небаланса при внешнем К.З., А	$I_{нб.расч.} = K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot E \cdot I_{кз} + \Delta U \cdot I_{кз} +$ $+ \left \frac{I_{1отв.расч.неосн.} - I_{1ном.отв.}}{I_{1отв.расч.неосн.}} - \frac{I_{2отв.расч.неосн.} - I_{2ном.отв.}}{I_{2отв.расч.неосн.}} \right \cdot I_{кз}$	$(2 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,12) \cdot 2200 +$ $+ \left \frac{7,5 - 4,5}{7,5} - \frac{5,45 - 3,27}{5,45} \right \cdot 2200 = 705$
7	Коэффициент торможения защиты (0,3-0,9)	$K_{торм} = \frac{I_{отс} \cdot I^*_{нб.расч} \cdot (I_{ном.В.осн}/I_{отв.ном.осн}) - I^*_{ср.min}}{0,5 \cdot \sum I^*_{торм.расч} \cdot \frac{I_{отв.торм.расч.}}{I_{отв.торм.ном}} - I^*_{торм.нач}}$	$\frac{1,5 \cdot \frac{705}{52} \cdot \frac{1,5}{2,5} - 0,3}{0,5 \cdot \left(\frac{2200 \cdot 1,5}{52 \cdot 2,5} + \frac{2200 \cdot 2,17}{52 \cdot 2,5} \right) - 1} = 0,683$
8	Первичный ток срабатывания отсечки, А	<p>по условию отстройки от броска тока намагничивания</p> $I_{с.отс.} = 6 \cdot I_{ном.отв.осн} \cdot K_1/K_{сх}$	$6 \cdot 2,5 \cdot \frac{300/5}{\sqrt{3}} = 519,61$

Продолжение таблицы 5. 2

1	2	3	4
9	Первичный ток срабатывания отсечки, А	по условию отстройки от максимального первичного тока небаланса при переходном режиме КЗ $I_{нб.расч}$ считаем по формуле для определения $I_{нб.расч}$, но $K_{пер}$ принимаем равным 3 $I_{с.отс.расч} = K_{отс} \cdot I_{нб.расч}$.	$(3 \cdot 1 \cdot 0,15 + 0,12) \cdot 2200 +$ $+ \left \frac{4,53 - 4,5}{4,53} - \right.$ $\left. - \frac{3,29 - 3,27}{3,29} \right \cdot 2200 = 1254$ $1,5 \cdot 1254 = 1880$
10	Принятый ток срабатывания отсечки	$I_{с.отс}$	$I_{с.отс} = 1880$ $I_{с.отс} > I_{с.отс.расч}$

Примечания:

1. Расчет выполнен в соответствии с руководящими указаниями по релейной защите выпуск 13 Б /18/.

2. $I_{кз}$ - ток от шин 110 кВ при КЗ на шинах 35 кВ.

3. Принятые коэффициенты:

$K_{пер} = 1$ – коэффициент учитывающий переходной режим;

$K_{одн} = 1$ – однотипности трансформаторов тока;

$\varepsilon = 0,05(0,1)$ - полная погрешность трансформаторов тока учитывающая дополнительную погрешность используемых в защите автотрансформаторов для выравнивания;

$\Delta U = 0,12$ - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения;

$k_{отс} = 1,5$ – коэффициент отстройки.

3 Методические рекомендации по проведению лабораторных занятий

Лабораторных занятий предусмотрены в рабочей программе в объеме 6 часов.

№ темы	Название темы	Кол-во часов
1	Расчет релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов	2
2	Расчет релейной защиты и автоматики генераторов	2
3	Расчет релейной защиты и автоматики электродвигателей	2

Лабораторные занятия проводятся по учебному пособию: Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Основы проектирования релейной защиты и автоматики» (составитель: А.Г. Ротачева). Лабораторные работы проводятся на учебном лабораторном комплексе по релейной защите.

Лабораторные работы проводятся в следующей последовательности:

1. Инструктаж по технике безопасности.
2. Теоретический опрос и допуск к работе.
3. Проведение экспериментов на лабораторных стендах.
4. Предварительная обработка результатов экспериментов.
5. Выводы по проделанной работе.
6. Защита отчетов.
7. Оформление отчетов.

Практические занятия предусмотрены в рабочей программе в объеме 8 часов.

№ темы	Название темы	Кол-во часов
1	Изучение схем управления масляных, вакуумных, элегазовых и воздушных выключателей	2
2	Выбор панелей и шкафов релейной защиты и автоматики	2
3	Расчет релейной защиты и автоматики линий 10-500 кВ	4

Практические занятия проводятся по сборнику задач релейной защиты под редакцией проф. В.Л. Фабриканта.

Список рекомендуемой литературы

1. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоиздат, 2002. - 648 с.
2. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие.- М.: Издательство МЭИ, 2000.- 248с.
3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с.
4. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.
5. Лезнов С.И., Махлина Л.Н. «Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок» - М.: Энергоатомиздат, 1986.- 152 с.
6. Фабрикант В.Л. и др. Задачник по релейной защите. Учебное пособие для электроэнергетических специальностей вузов. М., «Высшая школа», 1971, 608 с.

4. Самостоятельная работа студентов

4.1. Методические указания по проведению самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студентов включает изучение лекционного материала и дополнительной литературы по дисциплине при подготовке к занятиям, работу в библиотеке, написание отчета по лабораторным и практическим работам и сдачу зачета. Контроль степени усвоения материала осуществляется с помощью вопросов для самопроверки. Также на каждой лекции предусмотрен 15 минутный опрос студентов по ранее (и самостоятельно) изученному материалу.

Тема 1. 1. Структура и классификация устройств релейной защиты. Требования, учитываемые при проектировании защит основного оборудования. Исходные данные для проектирования. Исходные данные для проектирования.

Вопросы для самопроверки.

1. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования.

2. Состав применяемых защит.
3. Максимальные токовые защиты от междуфазных повреждений.
4. МТЗ линий с односторонним питанием.
5. МТЗ от междуфазных повреждений.
6. Ненаправленные токовые отсечки линий с 2-х сторонним питанием.
7. Максимальная токовая защита от замыканий на землю.

Тема 2. Поперечная дифференциальная токовая защита.

Вопросы для самопроверки.

1. Дистанционная защита от междуфазных повреждений.
2. Дистанционная защита.
3. Требования к электрической прочности изоляции к МП РЗА
4. Расчет уставок блокировки при качаниях.
5. Дифференциально-фазная высокочастотная защита.
6. Расчет пусковых органов при несимметричных повреждениях.

Тема 3. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типов РНТ-560 и ДЗТ-11.

Вопросы для самопроверки.

1. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типа ДЗТ-20.
2. Основные характеристики защиты и реле.
3. МТЗ от замыканий на землю.
4. Дистанционная защита автотрансформаторов.
5. Максимальная токовая защита от замыканий на землю автотрансформатора.
6. Максимальная токовая защита от замыканий на землю.

Тема 4. Максимальная токовая защита с комбинированным пуском по напряжению генераторов, работающих на сборные шины.

Вопросы для самопроверки.

1. Продольная дифференциальная токовая защита от междуфазных повреждений в обмотке статора.
2. Максимальная токовая защита обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных к.з. генераторов, работающих на сборные шины. МТЗ от замыканий на землю.
3. Подготовка к проведению работы РЗА
4. Расчет уставок срабатывания. Продольные дифференциальные токовые защиты блока генератор- трансформатор.

Тема 5. Основные защиты блока не требующие специального расчета уставок.

Вопросы для самопроверки.

1. Основные условия выполнения защит.
2. Максимальная токовая защита обратной последовательности с независимыми выдержками времени.
3. Проверка временных характеристик устройств РЗА в полной схеме
4. Максимальная токовая защита от замыканий на землю.

Тема 6. Обозначение элементов в электрических схемах.

Вопросы для самопроверки.

1. Условные обозначения проектных функциональных групп и кабельных линий.
2. Обозначение вторичных цепей. Схемы вторичных цепей. Назначение вторичных цепей.
3. Токовые цепи. Цепи напряжения. Цепи оперативного тока. Источники питания оперативного тока.
4. Размещение аппаратуры вторичных устройств на панелях. Конструкции и типы панелей. Ряды зажимов на комплектных устройствах. Монтажные схемы комплектных устройств.

Тема 7. Оперативные пункты управления (ОПУ).

Вопросы для самопроверки.

1. Общая часть. ОПУ на ТЭС. ОПУ на ГЭС. ОПУ на АЭС. ОПУ на подстанциях.
2. Схемы распределения оперативного тока. Схемы управления и сигнализации в электроустановках.
3. Избирательные схемы управления. Схемы аварийной и предупреждающей сигнализации.

4.2. График самостоятельной учебной работы студентов

График самостоятельной работы студентов по дисциплине на каждый семестр с указанием ее содержания, объема в часах, сроков и форм контроля показан ниже. В пункте 3.1 более подробно расписано содержание самостоятельной работы студентов.

№	Содержание самостоятельной работы,	Объем, часы	Формы	Сроки,
---	------------------------------------	-------------	-------	--------

	литература		контроля	недели
1	2	3	4	5
1	<p>Структура и классификация устройств релейной защиты.</p> <p>Работа с литературой: 1. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоиздат, 2002. - 648 с. 2. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие.- М.: Издательство МЭИ, 2000.- 248с. 3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с. 4. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.</p>	2	Блиц-опрос	1 неделя
2	<p>Состав применяемых защит</p> <p>Работа с литературой: 1. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоиздат, 2002. - 648 с. 2. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие.- М.: Издательство МЭИ, 2000.- 248с. 3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с. 4. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.</p>	2	Защита по лабораторным работам	2 неделя
3	<p>Поперечная дифференциальная токовая защита.</p> <p>Работа с литературой: 1. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоиздат, 2002. - 648 с. 2. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие.- М.: Издательство МЭИ, 2000.- 248с. 3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с. 4. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.</p>	2	Блиц-опрос	3 неделя
4	<p>Схемы вторичных цепей. Назначение вторичных цепей.</p> <p>Работа с литературой: 1. Лезнов С.И., Махлина Л.Н. «Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок» - М.: Энергоатомиздат, 1986.- 152 с.</p>	2	Защита по лабораторным работам	4 неделя
5	<p>Дифференциально-фазная высокочастотная защита.</p> <p>Работа с литературой: 1. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоиздат, 2002. - 648 с. 2. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие.- М.: Издательство МЭИ, 2000.- 248с. 3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред.</p>	2	Блиц-опрос	5 неделя

	А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с. 4. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.			
6	Продольная дифференциальная токовая защита с реле типа ДЗТ-20 Работа с литературой:1. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоиздат, 2002. - 648 с.2. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие.- М.: Издательство МЭИ, 2000.- 248с. 3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с. 4. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.	2	Защита по лабораторным работам	6 неделя
7	Дистанционная защита автотрансформаторов Работа с литературой:1. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоиздат, 2002. - 648 с.2. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие.- М.: Издательство МЭИ, 2000.- 248с. 3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с. 4. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.	2	Блиц-опрос	7 неделя
8	Максимальная токовая защита обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных к.з. генераторов, работающих на сборные шины. Работа с литературой:1. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоиздат, 2002. - 648 с.2. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие.- М.: Издательство МЭИ, 2000.- 248с. 3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с. 4. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.		Защита по лабораторным работам	8 неделя
9	Расчет уставок срабатывания. Продольные и поперечные токовые защиты блока генератор-трансформатор. Работа с литературой:1. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоиздат, 2002. - 648 с.2. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие.- М.: Издательство МЭИ, 2000.- 248с. 3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с. 4. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.	2	Блиц-опрос	9 неделя

10	Основные защиты блока не требующие специального расчета уставок Работа с литературой:1. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоиздат, 2002. - 648 с.2. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие.- М.: Издательство МЭИ, 2000.- 248с. 3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с. 4. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.	2	Защита по лабораторным работам	10 неделя
11	Максимальная токовая защита обратной последовательности с независимыми выдержками времени. Работа с литературой:1. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоиздат, 2002. - 648 с.2. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие.- М.: Издательство МЭИ, 2000.- 248с. 3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – Под. ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 296 с. 4. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.	2	Блиц-опрос	11 неделя
12	Приборы защиты и измерения. Контактная аппаратура. Размещение аппаратуры вторичных устройств на панелях. Работа с литературой: 1ЛезновС.И., МахлинаЛ.Н. «Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок » - М.: Энергоатомиздат, 1986.- 152 с.	2	Защита по лабораторным работам	12 неделя
13	Конструкции и типы панелей. Монтажные схемы комплектных устройств Работа с литературой: 1ЛезновС.И., МахлинаЛ.Н. «Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок » - М.: Энергоатомиздат, 1986.- 152 с.	2	Блиц-опрос	13 неделя
14	.Оперативные пункты управления (ОПУ). Общая часть. ОПУ на ТЭС. ОПУ на ГЭС. ОПУ на АЭС. ОПУ на подстанциях.. Работа с литературой: 1ЛезновС.И., МахлинаЛ.Н. «Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок » - М.: Энергоатомиздат, 1986.- 152 с.	2	Получение допуска к экзамену	14 неделя

4.3. Методические указания по выполнению домашних заданий

Целью выполнения домашнего задания является самостоятельное изучение материала при подготовке к следующему занятию. Основным

типом домашнего задания для данной дисциплины является оформление лабораторных работ.

4.4. Фонды домашних заданий

Домашние задания выполнены в виде перечня вопросов.

Комплект домашних вопросов.

1. Структура и классификация устройств релейной защиты.
2. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования.
3. Требования, учитываемые при проектировании защит.
4. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования. Исходные данные для проектирования.
5. Исходные данные для проектирования.
6. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования. Состав применяемых защит.
7. Максимальные токовые защиты от междуфазных повреждений. МТЗ линий с односторонним питанием.
8. Продольная дифференциальная токовая защита от междуфазных повреждений в обмотке статора.
9. МТЗ от междуфазных повреждений. Ненаправленные токовые отсечки линий с 2-х сторонним питанием.
10. Поперечная дифференциальная токовая защита
11. Дистанционная защита от междуфазных повреждений. Расчет уставок срабатывания.
12. Дистанционная защита. Расчет уставок блокировки при качаниях.
13. Максимальная токовая защита с комбинированным пуском по напряжению генераторов, работающих на сборные шины.
14. Максимальная токовая защита от замыканий на землю. Расчет уставок срабатывания.
15. Максимальная токовая защита обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных к.з. генераторов, работающих на сборные шины.
16. МТЗ от замыканий на землю. Расчет уставок срабатывания.
17. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типов РНТ-560 и ДЗТ-11.
18. МТЗ от замыканий на землю.
19. Расчет уставок защиты при параллельных линиях.
20. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типа ДЗТ-20. Основные характеристики защиты и реле
21. МТЗ от замыканий на землю. Расчет от броска намагничивающего тока.
22. Максимальная токовая защита от междуфазных повреждений силового трансформатора.

- 23.Комплектные защиты от всех видов повреждений. Общие замечания и требования.
- 24.Дистанционная защита автотрансформаторов.
- 25.Поперечная дифференциальная направленная защита параллельных линий.
26. Расчет комплекта защиты от замыканий на землю.
- 27.Максимальная токовая защита от замыканий на землю автотрансформатора.
- 28.Поперечная дифференциальная направленная защита параллельных линий.
- 29.Расчет комплекта защиты от междуфазных повреждений.
30. Продольные дифференциальные токовые защиты блока генератор-трансформатор.
31. Дифференциально-фазная высокочастотная защита. Расчет пусковых органов при симметричных повреждениях.
32. Основные защиты блока не требующие специального расчета уставок.
- 33.Дифференциально-фазная высокочастотная защита. Расчет пусковых органов при несимметричных повреждениях.
- 34.Резервные защиты блока. Основные условия выполнения защит. Максимальная токовая защита обратной последовательности с независимыми выдержками времени.
- 35.Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования.
- 36.Резервные защиты блока. Максимальная токовая защита от замыканий на землю.

5. Методические указания по применению информационных технологий

К информационному обеспечению можно отнести следующие ресурсы:

1. Система автоматизации библиотек «IRBIS». Данная система, предназначенная для обеспечения возможности поиска информации о книжном фонде библиотеки ВУЗа. Система позволяет искать информацию о библиотечном издании по следующим критериям: ключевые слова, автор, заглавие, год издания и др.;
2. Информационная система нормативных документов «Kodeks». Система, предназначенная для поиска нормативных документов, применяемых в области энергетики.
3. Всемирная сеть InterNet. Данная сеть позволяет иметь доступ к информационным ресурсам всего мира и университета в частности. Адрес

сайта Амурского государственного университета www.amusru.ru. В частности на данном сайте можно своевременно узнать о событиях в ВУЗе, получить доступ к информационным ресурсам университета, в том числе к информации об аттестации, лицензировании.

4. Локальная библиотека кафедры Энергетики «Студент». Данный ресурс представляет собой электронные варианты книжного фонда, необходимого для учебного процесса.

В процессе обучения используются электронные презентации лекций с элементами активного обучения. Перечень лекций: «Собственные нужды станций и подстанций». Использование медиапроектора для просмотра фильмов «Электрические станции и подстанции».

6. Программные продукты, реально используемые в практической деятельности выпускника

В процессе изучения дисциплины «Наладка и эксплуатация устройств релейной защиты и автоматики» студент при подготовке к домашним заданиям, к лекционным курсам использует программные продукты. Но применение этих программ происходит поверхностно, т.е. даются основные понятия. Подробное изучение этих программ проводится по дисциплине «Пакеты прикладных программ», «Математические модели».

1. На кафедре имеется программное обеспечение. Оно представляет собой программы необходимые для учебного процесса и которое может каждый студент установить себе, для освоения учебного материала на собственных персональных компьютерах.

Программы для ознакомления студентов:

1. MS Visio (2002, 2003); графический редактор
2. MathCad (2000, 2001, 2003) – система математических расчетов;
3. MatLab – система моделирования;
4. Modus – Тренажерный комплекс;
5. SDO-6 – Расчет режимов и оптимизация режимов ЭЭС;

6. RASTR, RastWin – Расчет режимов электрических систем;
7. Energy1 – Расчет сети;
8. Uchet – Учет электроэнергии;
9. Kaktys – контролирующая и обучающая программа;
10. Tkv-3000v.lut – Расчет токов короткого замыкания;
11. Runge – Расчет уравнений движения работы синхронных машин;
12. Curspm G2, Curspm G2 – Автоматизированный расчет графиков электрических нагрузок;
13. «Kmet» – Расчет технико-экономических параметров эл.сети;
14. Delphi-6.0 – система быстрой разработки программ;
15. Model – Моделирование параметров режима.

7. Материалы по контролю качества образования

7.1. Методические указания по организации контроля знаний студентов

На лекциях проводится блиц-опрос (текущий контроль) по пройденному материалу, проверка домашнего задания. В конце семестра проводится экзамен (вопросы к экзамену приведены ниже в пункте 6.3).

План проведения блиц-опроса:

1. Напоминается тема предыдущего занятия;
2. Студентам задается 4 – 5 вопросов по предыдущей теме занятия;
3. Проводится анализ полученных ответов.

7.2. Фонд заданий (для блиц-опроса)

Блиц-опрос №1.

Вопросы .

1. Структура и классификация устройств релейной защиты.
2. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования.
3. Требования, учитываемые при проектировании защит.
4. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования. Исходные данные для проектирования.

Блиц-опрос №2.

Вопросы.

1. Исходные данные для проектирования.
2. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования. Состав применяемых защит.
3. Максимальные токовые защиты от междуфазных повреждений. МТЗ линий с односторонним питанием.
4. Продольная дифференциальная токовая защита от междуфазных повреждений в обмотке статора.

Блиц-опрос №3.

Вопросы.

1. МТЗ от междуфазных повреждений. Ненаправленные токовые отсечки линий с 2-х сторонним питанием.
2. Поперечная дифференциальная токовая защита
3. Дистанционная защита от междуфазных повреждений. Расчет уставок срабатывания.
4. Дистанционная защита. Расчет уставок блокировки при качаниях

Блиц-опрос №4.

Вопросы .

1. Максимальная токовая защита с комбинированным пуском по напряжению генераторов, работающих на сборные шины.
2. Максимальная токовая защита от замыканий на землю. Расчет уставок срабатывания.
3. Максимальная токовая защита обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных к.з. генераторов, работающих на сборные шины.
4. МТЗ от замыканий на землю. Расчет уставок срабатывания.

Блиц-опрос №5.

Вопросы.

1. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типов РНТ-560 и ДЗТ-11.
2. МТЗ от замыканий на землю.
3. Расчет уставок защиты при параллельных линиях.
4. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типа ДЗТ-20. Основные характеристики защиты и реле

Блиц-опрос №6

Вопросы.

1. МТЗ от замыканий на землю. Расчет от броска намагничивающего тока.

2. Максимальная токовая защита от междуфазных повреждений силового трансформатора.
3. Комплектные защиты от всех видов повреждений. Общие замечания и требования.
4. Дистанционная защита автотрансформаторов.

Блиц-опрос №7

Вопросы.

1. Максимальная токовая защита от замыканий на землю автотрансформатора.
2. Поперечная дифференциальная направленная защита параллельных линий.
3. Расчет комплекта защиты от междуфазных повреждений.
4. Продольные дифференциальные токовые защиты блока генератор-трансформатор.

7.3. Итоговый контроль

В конце семестра проводится экзамен.

Контрольные вопросы по дисциплине «Основы проектирования релейной защиты и автоматики»

Билет № 1

1. Исходные данные для проектирования.
2. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования. Состав применяемых защит.
3. Задача.

Билет № 2

1. Максимальные токовые защиты от междуфазных повреждений. МТЗ линий с односторонним питанием.
2. Продольная дифференциальная токовая защита от междуфазных повреждений в обмотке статора.
3. Задача.

Билет № 3

1. Структура и классификация устройств релейной защиты.
2. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования.

3. Задача.

Билет № 4

1. Требования, учитываемые при проектировании защит.
2. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования. Исходные данные для проектирования.
3. Задача.

Билет № 5

1. Максимальная токовая защита от замыканий на землю. Расчет уставок срабатывания.
2. Максимальная токовая защита обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных к.з. генераторов, работающих на сборные шины.
3. Задача.

Билет № 6

1. МТЗ от замыканий на землю. Расчет уставок срабатывания.
2. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типов РНТ-560 и ДЗТ-11.
3. Задача.

Билет № 7

1. МТЗ от замыканий на землю. Расчет уставок защиты при параллельных линиях.
2. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типа ДЗТ-20. Основные характеристики защиты и реле.
3. Задача.

Билет № 8

1. МТЗ от междуфазных повреждений. Ненаправленные токовые отсечки линий с 2-х сторонним питанием.
2. Поперечная дифференциальная токовая защита генераторов работающих на сборные шины.
3. Задача.

Билет № 9

1. Дистанционная защита от междуфазных повреждений. Расчет уставок срабатывания.
2. Защита от замыканий на землю в обмотке статора.
3. Задача.

Билет № 10

1. Дистанционная защита. Расчет уставок блокировки при качаниях.
2. Максимальная токовая защита с комбинированным пуском по напряжению генераторов, работающих на сборные шины.
3. Задача.

Билет № 11

1. Поперечная дифференциальная направленная защита параллельных линий. Расчет комплекта защиты от междуфазных повреждений.
2. Продольные дифференциальные токовые защиты блока генератор- трансформатор.
3. Задача.

Билет № 12

1. Дифференциально-фазная высокочастотная защита. Расчет пусковых органов при симметричных повреждениях.
2. Основные защиты блока не требующие специального расчета уставок.
3. Задача.

Билет № 13

1. МТЗ от замыканий на землю. Расчет от броска намагничивающего тока.
2. Максимальная токовая защита от междуфазных повреждений силового трансформатора.
3. Задача.

Билет № 14

1. Комплектные защиты от всех видов повреждений. Общие замечания и требования.
2. Дистанционные защита автотрансформаторов.
3. Задача.

Билет № 15

1. Поперечная дифференциальная направленная защита параллельных линий. Расчет комплекта защиты от замыканий на землю.
2. Максимальная токовая защита от замыканий на землю автотрансформатора.
3. Задача.

Билет № 16

1. Особенности выполнения защит на электрических станциях и подстанциях основного оборудования.
2. Резервные защиты блока. Максимальная токовая защита от замыканий на землю.
3. Задача.

Билет № 17

1. Дифференциально-фазная высокочастотная защита. Расчет пусковых органов при несимметричных повреждениях.
2. Резервные защиты блока. Основные условия выполнения защит. Максимальная токовая защита обратной последовательности с независимыми выдержками времени.
3. Задача.

8. Карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава

Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Зачет
Доцент кафедры Энергетики Ротачева Алла Георгиевна	Доцент кафедры Энергетики Ротачева Алла Георгиевна	Доцент кафедры Энергетики Ротачева Алла Георгиевна	Доцент кафедры Энергетики Ротачева Алла Георгиевна

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебно-методический комплекс ориентирован на оказание помощи студентам очной формы обучения по специальности 140203 – «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» для формирования фундаментальных знаний обо всех разделах энергетики и их взаимосвязях, об энергетических системах и основ проектирования релейной защиты и автоматики, происходящих в них процессах. В данном учебно-методическом комплексе отражены полные вопросы: показана рабочая программа дисциплины; подробно описан график самостоятельной учебной работы студентов по дисциплине на каждый семестр с указанием ее содержания, объема в часах, сроков и форм контроля; расписаны методические указания по проведению самостоятельной работы студентов; предложен краткий конспект лекций по данному курсу; методические рекомендации по выполнению лабораторных и практических работ и домашних занятий; показан перечень программных продуктов, реально используемых в практике деятельности студентов; комплекты заданий для домашних заданий; фонд тестовых заданий для оценки качества знаний по дисциплине; контрольные вопросы к зачету; карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава.