

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.01.02 Проектирование релейных схем

**Направление подготовки (специальность) 35.04.06 Агроинженерия**

**Профиль образовательной программы «Электротехнологии и  
электрооборудование в сельском хозяйстве»**

**Форма обучения очная**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Методические указания по проведению практических занятий.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Практическое занятие № ПЗ-1,2 Основные этапы проектирования релейной защиты, автоматики и телемеханики как комплексной системы управления электроэнергетическими объектами.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Практическое занятие № ПЗ-3,4 Поперечная дифференциальная токовая защита. Дистанционная защита от междуфазных повреждений. Дистанционная защита линий.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Практическое занятие № ПЗ-5,6 Продольная дифференциальная токовая защита с реле типов РНТ-565 и ДЗТ-11. МТЗ от замыканий на землю. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типа ДЗТ-21. Максимальная токовая защита с комбинированным пуском по напряжению генераторов, работающих на сборные шины. Основные защиты блока, не требующие специального расчета уставок. Резервные защиты блока.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 Практическое занятие № ПЗ-7 Методы обеспечения требуемых показателей технического совершенства и надежности функционирования релейной защиты и автоматики», «схемы вторичных цепей». Общие положения. Условные обозначения проектных функциональных групп и кабельных линий. Оперативные пункты управления (ОПУ). Общая часть. ОПУ на ТЭС. ОПУ на ГЭС. ОПУ на АЭС. ОПУ на подстанциях. Схемы распределения.....</b>	<b>12</b>

# 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

## 1.1 Практическое занятие №1,2 (4 часа).

**Тема:** «Основные этапы проектирования релейной защиты, автоматики и телемеханики как комплексной системы управления электроэнергетическими объектами»

### 1.1.1 Задание для работы:

Структура и классификация устройств релейной защиты. Требования, учитываемые при проектировании защит, основного оборудования. Проектирование релейной защиты, автоматики и телемеханики как комплексной системы управления электроэнергетическими объектами. 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.

### 1.1.2 Краткое описание проводимого занятия:

#### 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;

13

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 «бликер 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

При проектировании релейной защиты основными требованиями являются: быстродействие, избирательность (селективность), чувствительность, надежность и наличие устройств сигнализации.

### **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.

### **1.1.3 Результаты и выводы:**

Освоение теоретических навыков основных этапов проектирования релейной защиты, автоматики и телемеханики как комплексной системы управления электроэнергетическими объектами

### **1.2 Практическое занятие №3,4 (4 часа).**

**Тема:** «Поперечная дифференциальная токовая защита. Дистанционная защита от междуфазных повреждений. Дистанционная защита линий»

#### **1.2.1 Задание для работы:**

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. Исходные данные для проектирования.

#### **1.2.2 Краткое описание проводимого занятия:**

##### **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:

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

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

##### **Исходные данные для проектирования**

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;

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

4) 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.

### **1.2.3 Результаты и выводы:**

полное представление о работе максимальной токовой защиты линии электропередачи.

### **1.3 Практическое занятие №5,6 (4 часа).**

**Тема:** «Продольная дифференциальная токовая защита с реле типов РНТ-565 и ДЗТ-11. МТЗ от замыканий на землю. Продольная дифференциальная токовая защита с реле типа ДЗТ-21. Максимальная токовая защита с комбинированным пуском по напряжению генераторов, работающих на сборные шины. Основные защиты блока, не требующие специального расчета уставок. Резервные защиты блока.»

#### **1.3.1 Задание для работы:**

Методика проектирования; система автоматизированного проектирования; методы обеспечения требуемых показателей технического совершенства и надежности функционирования релейной защиты и автоматики. Расчет продольной дифференциальной токовой защиты 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.

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.

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.

### **1.3.2 Краткое описание проводимого занятия:**

#### **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 ( $I_{сзг} = (0,5—0,6)I_{гном}$ ). 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.

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:  $\kappa_3 = 1,3$  — 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;  $\kappa_n$  — коэффициент однотипности трансформаторов тока (ТТ), принимаемый для однотипных ТТ равным 0,5 и для разнотипных — 1,0;  $\epsilon = 0,1$  — относительная наибольшая полная погрешность ТТ, соответствующая току намагничивания в установившемся режиме КЗ.

### **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 электро-механических 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<sub>ном</sub>) 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.

#### **Максимальные токовые защиты**

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, 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.

#### **Дистанционные защиты**

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 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; 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 фмч, который принимается в зависимости от напряжения сети и марки провода. Реле сопротивления современных защит имеют для II-III ступеней более сложные характеристики срабатывания (четырёхугольник, треугольник).

### **1.3.3 Результаты и выводы:**

Освоение теоретических навыков построения поперечной дифференциальной токовой защиты, а также дистанционной защиты от междуфазных повреждений и дистанционной защиты линий

### **1.4 Практическое занятие №7 (2 часа).**

**Тема:** «Методы обеспечения требуемых показателей технического совершенства и надежности функционирования релейной защиты и автоматики», «схемы вторичных цепей». Общие положения. Условные обозначения проектных функциональных групп и кабельных линий. Оперативные пункты управления (ОПУ). Общая часть. ОПУ на ТЭС. ОПУ на ГЭС. ОПУ на АЭС. ОПУ на подстанциях. Схемы распределения.»

#### **1.4.1 Задание для работы:**

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.

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.

#### **1.4.2 Краткое описание проводимого занятия:**

##### **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 автотрансформато-

ров 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;\_\_

#### **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.

#### **1.4.3 Результаты и выводы:**

Освоение теоретических навыков обеспечения требуемых показателей технического совершенства и надежности функционирования релейной защиты и автоматики, схемы вторичных цепей. Общие положения. Условные обозначения проектных функциональных групп и кабельных линий. Оперативные пункты управления (ОПУ). Общая часть. ОПУ на ТЭС. ОПУ на ГЭС. ОПУ на АЭС. ОПУ на подстанциях. Схемы распределения.