

**НОУ «Центр подготовки кадров энергетики»**

К.В. Елецкий  
Г.В. Меркурьев

**Релейная защита энергосистем  
для оперативного персонала**

Учебное пособие

Санкт-Петербург  
2009

**Елецкий К.В., Меркурьев Г.В. Релейная защита энергосистем для оперативного персонала.** Учебное пособие. Издание Центра подготовки кадров энергетики (НОУ «Центр подготовки кадров энергетики»), Санкт-Петербург, 2009 г.

Учебное пособие предназначено для слушателей групп повышения квалификации по курсу «Оперативно-диспетчерское управление энергосистемами».

Учебное пособие может быть использовано в практической работе оперативно-диспетчерского персонала АО-энерго, электростанций и ПЭС.

Учебное пособие рассмотрено и одобрено на заседании кафедры «Оперативно-диспетчерское управление энергосистемами».

Научный редактор д.т.н., проф. Ванин В.К.

# Содержание

<b>1. Требования ПТЭ к оперативному персоналу по РЗА</b>	
1.1. Объем знаний по устройствам РЗА для дежурного персонала	7
1.2. Обязанности дежурного персонала по эксплуатации РЗА	7
<b>2. Общие требования к устройствам релейной защиты и автоматики</b>	
Быстродействие	10
Чувствительность	10
Селективность (избирательность)	11
Надежность	11
Надежность срабатывания	11
Надежность несрабатывания	11
<b>3. Устройства РЗА линий 110 кВ и выше</b>	
3.1. Основные быстродействующие защиты	12
3.1.1. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий (ДФЗ)	12
Назначение защиты	12
Краткое описание защиты	12
Оперативное обслуживание ДФЗ дежурным персоналом	17
3.1.2. Направленная высокочастотная защита линий (ВЧ защита)	17
Назначение защиты	17
Краткое описание защиты	18
Оперативное обслуживание ВЧ защиты дежурным персоналом	21
3.1.3. Направленная дифференциально-фазная высокочастотная защита	22
Назначение защиты	22
Краткое описание защит	22
Оперативное обслуживание защиты дежурным персоналом	23
3.1.4. Продольная дифференциальная защита линий (ДЗЛ)	23
Назначение защиты	23
Краткое описание устройства защиты соединительных проводов	23
Оперативное обслуживание ДЗЛ дежурным персоналом	25
3.2. Резервные защиты	25
3.2.1. Дистанционная защита (ДЗ)	25
Назначение защиты	25
Краткое описание защиты	25
Оперативное обслуживание дистанционной защиты дежурным персоналом	28

3.2.2. Токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП)	28
Назначение защиты	28
Краткое описание защиты	29
Оперативное обслуживание ТЗНП дежурным персоналом	31
3.2.3. Токовая защита нулевой последовательности с контролем направления мощности нулевой последовательности в параллельной линии («поперечная» направленная защита от замыканий на землю)	31
Назначение защиты	31
Краткое описание защиты	32
Оперативное обслуживание «поперечной» направленной защиты от замыканий на землю дежурным персоналом	33
3.3. Устройство автоматического повторного включения (АПВ)	34
Назначение устройства	34
Краткое описание устройства	35
Оперативное обслуживание устройств АПВ дежурным персоналом	38
3.4. Устройство однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ)	38
Назначение устройства	38
Краткое описание устройства	38
Оперативное обслуживание ОАПВ дежурным персоналом	38
3.5. Устройство автоматического повторного включения с улавливанием синхронизма (АПВУС)	39
Назначение устройства	39
Краткое описание устройства	40
<b>4. Защита от непереключения фаз выключателя (ЗНФ)</b>	
Назначение защиты	41
Краткое описание защиты	41
Оперативное обслуживание ЗНФ дежурным персоналом	43
<b>5. Дифференциальная защита шин (ДЗШ)</b>	
Назначение защиты	44
Краткое описание защиты	44
Оперативное обслуживание ДЗШ дежурным персоналом	48
<b>6. Неполная дифференциальная защита шин (НДЗШ)</b>	
Назначение защиты	49
Краткое описание защиты	49
Оперативное обслуживание ДЗШ дежурным персоналом	50

## **7. Устройство резервирования при отказе выключателей (УРОВ)**

Назначение устройства	51
Краткое описание устройства	51
Оперативное обслуживание УРОВ дежурным персоналом	53

## **8. Защиты трансформаторов и автотрансформаторов**

Назначение устройств защиты	55
Краткое описание устройств защиты	55
8.1. Дифференциальная защита	55
8.2. Газовая защита	57
8.3. Резервные защиты	58
8.4. Устройство контроля изоляции вводов трансформаторов (КИВ)	59
8.5. Токовая защита от перегрузки	59
Оперативное обслуживание защит дежурным персоналом	59
8.6. Дифференциальная защита	59
8.7. Газовая защита	60
8.8. Резервные защиты	60
8.9. Контроль изоляции вводов (КИВ)	61

## **9. Защиты генераторов**

Назначение защит генераторов	62
Краткое описание защит генератора	62
9.1 Дифференциальная защита	62
9.2. Поперечная дифференциальная защита генератора	63
9.3. Защита от замыканий на землю обмотки статора генератора	63
9.4. Защита генератора от сверхтоков при внешних КЗ и перегрузках	64
9.4.1. Максимальная токовая защита (МТЗ) с блокировкой по напряжению	64
9.4.2. Токовая защита обратной последовательности	65
9.4.3 Дистанционная защита	65
9.4.4. Защита от перегрузки обмотки статора	65
9.4.5. Защита обмотки ротора от замыканий на землю	65
9.4.6. Защита ротора от перегрузки током	66
9.4.7. Защита от асинхронного режима	66
9.4.8. Защита от повышения напряжения	67
Оперативное обслуживание защит дежурным персоналом	67

<b>10. Феррорезонанс</b>	
Краткое описание явления феррорезонанса	68
Действия дежурного персонала по недопущению явления феррорезонанса	69
<b>11. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики</b>	
Краткое описание и преимущества микропроцессорных устройств РЗА	71
Источники помех, действующих на микропроцессорные устройства РЗА	72
Структура микропроцессорных устройств РЗА	73
Краткое описание дифференциальной защиты линии, выполненной на микропроцессорной базе	74
Краткое описание дистанционной защиты, выполненной на микропроцессорной базе	75
Краткое описание ТЗНП, выполненной на микропроцессорной базе	76
<b>12. Обязанности дежурного персонала по эксплуатации РЗА</b>	77
<b>13. Мероприятия при выводе в ремонт силового оборудования</b>	79
<b>14. Перечень устройств РЗА, которые должны выводиться из работы при операциях с испытательными блоками</b>	81
<b>Список литературы</b>	82

## **1. Требования ПТЭ к оперативному персоналу по РЗА**

### **1.1. Объем знаний по устройствам РЗА для дежурного персонала**

Дежурный персонал должен иметь определенный объем знаний по релейной защите и автоматике элементов системы и в частности:

- из раздела III «Правил устройств электротехнических установок»
- общие требования, предъявляемые к устройствам РЗА, а также какие типы защит применяются на электрооборудовании;
- Правила технической эксплуатации (ПТЭ) по устройствам РЗА;
- требования Правил по охране труда (правил безопасности).

Дежурный персонал должен знать общую инструкцию по эксплуатации РЗА для местного дежурного персонала электростанций и подстанций.

По принципиальным схемам отдельных устройств РЗА дежурный персонал должен знать следующее:

- назначение и принцип действия устройств РЗА;
- принцип выполнения питания схемы устройства РЗА оперативным током и как осуществляется контроль исправности схемы оперативного тока;
- принцип подвода к устройству РЗА питания от трансформаторов напряжения;
- принцип выполнения устройств, с помощью которых дежурный персонал электростанций и подстанций производит операции по вводу и выводу РЗА, по подключению токовых цепей трансформаторов тока, по сигнализации действия защиты, а также принцип выполнения устройств контроля исправности защиты;
- уметь объяснить, чем вызвана необходимость выполнения дежурным персоналом изменений в РЗА в зависимости от режима работы оборудования.

### **1.2. Обязанности дежурного персонала по эксплуатации РЗА**

1. При приемке смены дежурный персонал должен ознакомиться с имеющимися записями, характеризующими состояние РЗА в системе:

- с записями в оперативном журнале о выведенных из действия (по заявке или вследствие неисправности) устройствах РЗА;
- с записями в журнале РЗА на щите управления, сделанными персоналом релейной службы, о готовности РЗА к их вводу в действие и об особых условиях эксплуатации РЗА, если эти условия не оговорены в действующих инструкциях, или возникли вследствие создавшегося временного ненормального режима работы системы.

2. Для обеспечения надежной работы РЗА при изменениях в схеме первичной коммутации или в РЗА, дежурный персонал должен, при рассмотрении оперативных заявок на вывод из работы оборудования и на создание ненормальных схем, привлекать персонал соответствующей релейной службы для разработки мероприятий к заявкам. Включение силового электрооборудования в работу после работ на нем, при которых могли произойти неисправности устройств РЗА или же измениться условия их работы должно производиться с ведома начальника соответствующей релейной службы.

3. Дежурный персонал должен производить запись в оперативном журнале о всех действиях РЗА, с указанием вида действовавшего устройства и ступени (зоны), если защита имеет несколько ступеней (зон).

Для АПВ, АВР, ЧАПВ должна быть дана оценка результатов их работы:

- успешно (оборудование включено действием автоматики);
- неуспешно (оборудование осталось отключенным после действия автоматики);
- отказ (автоматика не действовала на включение оборудования).

Указываются также сопутствующие действию или отказу РЗА факторы, например, сигнал появления «земли» на постоянном токе, сигнал понижения давления воздуха в пневмосети, толчок в сети с пуском осциллографа или фиксирующих приборов, работа персонала в цепях РЗА и другие.

4. В случаях отключения присоединения при отсутствии КЗ, одновременного отключения двух присоединений и отключения присоединения только с одной стороны, если оно не вызвано отказом выключателя смежного присоединения или действием введенной по режиму неселективной защиты, и в других сомнительных действиях РЗА, дежурный персонал должен дать задание местному дежурному персоналу о внеплановой проверке устройства РЗА в объеме, который ему разрешен инструкцией по эксплуатации РЗА.

5. При возникновении неисправности в устройствах РЗА, дежурный персонал должен дать указание – вывести из действия данное устройство, сообщить о неисправности вышестоящему оперативному лицу, в ведении которого находится устройство, а также принять меры, исключающие возможность возникновения аварии (например, вклю-



чить резервное оборудование, после чего отключить оборудование с неисправной защитой или включить присоединение с неисправной защитой через обходной выключатель с защитами на нем, включить подменные защиты и т. п.).

Дежурный персонал должен дать указание местному дежурному персоналу об устранении неисправности в РЗА (самостоятельно или с привлечением работников МСРЗАИ (ЭТЛ)) и должен содействовать персоналу МСРЗАИ (ЭТЛ) по быстрейшему вводу основных быстродействующих защит (создание благоприятного режима для производства фазировки защит и т. п.)

О возникших неисправностях и устранении их дежурный персонал должен сделать запись в оперативном журнале.

6. При выводе основного оборудования в ремонт и при создании ремонтной схемы дежурный персонал должен в определенной последовательности выполнять операции, указанные в ремонтных схемах объектов и в программах по сложным переключениям. Эти схемы и программы должны согласовываться с соответствующей службой РЗАИ.

7. При допусках персонала МСРЗАИ к работам на устройствах РЗА дежурный персонал должен обеспечивать условия проведения этих работ.

## **2. Общие требования к устройствам релейной защиты и автоматики**

В процессе эксплуатации на электрооборудовании электростанций и в электрических сетях могут возникнуть повреждения и ненормальные режимы работы. По условию бесперебойной работы неповрежденной части энергосистемы время отключения повреждения должно составлять десятые и даже сотые доли секунды. Очевидно, что дежурный персонал не в состоянии в требуемое столь малое время отметить, оценить возникший аварийный режим и принять необходимые меры к его ликвидации. Поэтому электроустановки оснащаются автоматически действующими устройствами – релейной защитой.

Основным назначением релейной защиты является автоматическое отключение поврежденного элемента от остальной части энергосистемы. Релейная защита должна реагировать также на опасные ненормальные режимы работы электрооборудования.

К устройствам релейной защиты предъявляются следующие основные требования.

### **Быстродействие**

Отключение повреждения должно производиться с минимально возможным временем, обеспечивающим:

- устойчивости параллельной работы генераторов в энергосистеме;
- уменьшению размеров повреждения оборудования;
- снижению вероятности перехода возникшего короткого замыкания к более тяжелому виду;
- увеличению пропускной способности линий электропередачи;
- повышению эффективности АПВ;
- уменьшению влияния снижения напряжения при коротком замыкании на работу потребителей электроэнергии.

### **Чувствительность**

Чувствительность – это свойство устройства РЗА с определенным запасом (коэффициентом чувствительности) реагировать на изменение одного или нескольких электрических параметров при коротком замыкании или ненормальном режиме работы.

Для того чтобы устройство релейной защиты реагировало на изменение параметров аварийного или ненормального режима (увеличение тока, снижение напряжения и т. д.), оно должно обладать определенной чувствительностью в пределах основной зоны действия, а так-

же (для резервных защит) – с учетом зоны, обеспечивающей дальнейшее резервирование. Чувствительность устройств релейной защиты проверяется при различных видах повреждений с учетом минимально возможного реального режима работы участка энергосистемы.

### **Селективность (избирательность)**

Селективность – свойство устройств РЗА отключать только поврежденное оборудование энергосистемы минимальным числом выключателей, а при отказе выключателя – выключателями, ближайшими к отказавшему.

### **Надежность**

Устройство релейной защиты должно иметь определенную надежность.

#### **Надежность срабатывания**

Надежность срабатывания – устройство РЗА должно безотказно действовать при повреждениях в пределах зоны, контролируемой данным устройством РЗА.

#### **Надежность несрабатывания**

Надежность несрабатывания – устройство РЗА не должно действовать в тех режимах, когда работа данного устройства не предусматривается.

Надежность устройств РЗА определяется:

- качеством элементной базы устройств РЗА;
- качеством эксплуатации;
- степенью резервирования.

### **3. Устройства РЗА линий 110 кВ и выше**

#### **3.1. Основные быстродействующие защиты**

##### **3.1.1. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий (ДФЗ)**

###### **Назначение защиты**

ДФЗ применяется в качестве основной защиты линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше в связи с высоким требованием к РЗ этих линий по быстродействию, чувствительности и селективности.

ДФЗ не реагирует на асинхронный режим, качания и перегрузки линий. При неполнофазных режимах ДФЗ не действует на отключение линии, что позволяет использовать эту защиту на линиях, оборудованных устройствами ОАПВ. Защита обладает абсолютной селективностью, т. е. действует на отключение всех видов короткого замыкания по всей длине линии и не действует при внешних коротких замыканиях.

###### **Краткое описание защиты**

Защита выполнена на принципе сравнения фаз токов по концам линии. Фазы токов по концам линии сравниваются при помощи импульсов высокочастотных сигналов, передаваемых по высокочастотному каналу защищаемой линии.

В состав защиты входят два полукомплекта, установленные по концам защищаемой линии. Каждый полукомплект состоит из релейной части и ВЧ канала.

В состав ВЧ канала входят: ВЧ пост (состоящий из приемника и передатчика высокочастотных сигналов), ВЧ кабель, фильтр присоединения, конденсатор связи, ВЧ заградитель и линия электропередачи.

Релейная часть состоит из 3-х основных органов:

- орган пуска;
- орган управления ВЧ передатчиком (орган манипуляции);
- орган сравнения фаз.

Структурная схема ДФЗ приведена на рис. 3.1.

###### **Орган пуска ВЧ передатчика**

Орган пуска при всех видах коротких замыканий (КЗ) осуществляет пуск ВЧ передатчика и подключает к ВЧ посту орган сравнения фаз токов. Пусковой орган представляет собой комбинированный фильтр токов (напряжений) обратной и нулевой последовательности. При трехфазных КЗ пуск ВЧ передатчика происходит от токового реле, включенного в фазный провод трансформатора тока. Пусковой орган обладает

высокой чувствительностью и производит пуск ВЧ передатчика не только при КЗ на защищаемой линии, но и при КЗ на смежных линиях.

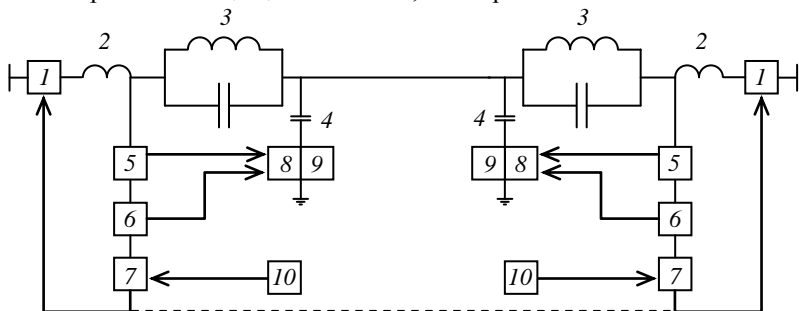


Рис. 3.1. Структурная схема ДФЗ:

- |                         |                                       |
|-------------------------|---------------------------------------|
| 1 – выключатель;        | 6 – орган манипуляции;                |
| 2 – трансформатор тока; | 7 – орган подготовки цепи отключения; |
| 3 – заградитель;        | 8 – ВЧ передатчик;                    |
| 4 – конденсатор связи;  | 9 – ВЧ приемник;                      |
| 5 – орган пуска;        | 10 – орган сравнения фаз              |

### Орган управления ВЧ передатчиком (орган манипуляции)

Для осуществления защиты с использованием только одного ВЧ канала трехфазные системы сравниваемых токов двух концов линии преобразуются посредством фильтров токов прямой и обратной последовательности в однофазное напряжение, которое подается в орган управления ВЧ передатчиком. При КЗ ВЧ передатчики с обеих сторон линии пускаются в работу с одинаковой несущей частотой, управляются (манипулируются) при помощи указанного выше напряжения манипуляции, осуществляя периодическое подключение ВЧ передатчика к линии электропередачи с частотой 50 Гц. Таким образом осуществляется манипуляция ВЧ сигнала токами КЗ. Длительность и отсутствия ВЧ сигнала равна половине периода промышленной частоты. Фаза манипулированных сигналов соответствует фазе тока КЗ на конце линии, где установлен ВЧ передатчик.

### Орган сравнения фаз токов

Сравнение фаз токов по концам защищаемой линии происходит в органе сравнения фаз – специальном реле, включенным в выходном каскаде ВЧ приемника. Органы манипуляции включены таким образом, что передатчики концов линии при внешних КЗ работают в разные полупериоды промышленной частоты, создавая в ВЧ канале непрерыв-

ный ВЧ сигнал. При наличии на линии непрерывного ВЧ сигнала орган сравнения фаз не действует. При КЗ на защищаемой линии передатчики концов линии работают в одни и те же периоды промышленной частоты. В результате этого на защищаемой линии образуется прерывистый ВЧ сигнал. Этот ВЧ сигнал принимается ВЧ приемниками обоих концов линии вызывая срабатывание органа сравнения фаз.

Контакт реле органа сравнения фаз подготавливает цепь отключения. Таким образом, орган сравнения фаз токов определяет, где находится место повреждения – на защищаемой линии или вне ее.

### **Выполнение ВЧ канала по ЛЭП**

Передача ВЧ сигналов производится по проводам линии электропередачи. Как правило, ВЧ канал работает по схеме фаза – земля. Для выполнения ВЧ канала производится высокочастотная обработка фазы линии, заключающаяся в установке по концам линии ВЧ заградителей и конденсаторов связи. ВЧ заградитель препятствует распространению ВЧ сигнала за пределы защищаемой линии. Конденсатор связи создает путь для ВЧ сигнала и изолирует ВЧ пост от высокого напряжения линии.

### **Действие ДФЗ при КЗ**

#### **Внешнее КЗ**

При внешних КЗ токи по концам защищаемой линии (относительно линии) сдвинуты по фазе на угол, близкий к 180 градусам, поэтому работа передатчиков происходит поочередно, и они передают на линию ВЧ сигналы, сдвинутые по фазе на половину периода промышленной частоты. При суммировании этих ВЧ сигналов на линии устанавливается непрерывный ВЧ сигнал. Приемники на обоих концах линии принимают непрерывный ВЧ сигнал, который поступает в орган сравнения фаз. Реле органа сравнения фаз при приеме непрерывного сигнала не срабатывает и ДФЗ не действует на отключение. На рис. 3.2. приведена схема образования ВЧ сигнала на линии при внешнем КЗ.

#### **КЗ на защищаемой линии**

При КЗ на защищаемой линии токи по концам линии (относительно линии) совпадают по фазе (угол сдвига примерно равен 0 градусов). Передатчики на обоих концах линии работают одновременно и передают на линию ВЧ сигналы, совпадающие по фазе. Поэтому ВЧ сигналы от двух ВЧ передатчиков накладываются друг на друга, образуя между ними паузы. Прерывистый ВЧ сигнал поступает в орган сравнения фаз. Реле органа сравнения фаз при приеме прерывистого сигнала срабатывает, подготавливая цепь отключения. На рис. 3.3 приведена

схема образования ВЧ сигнала на линии при КЗ на защищаемой линии.

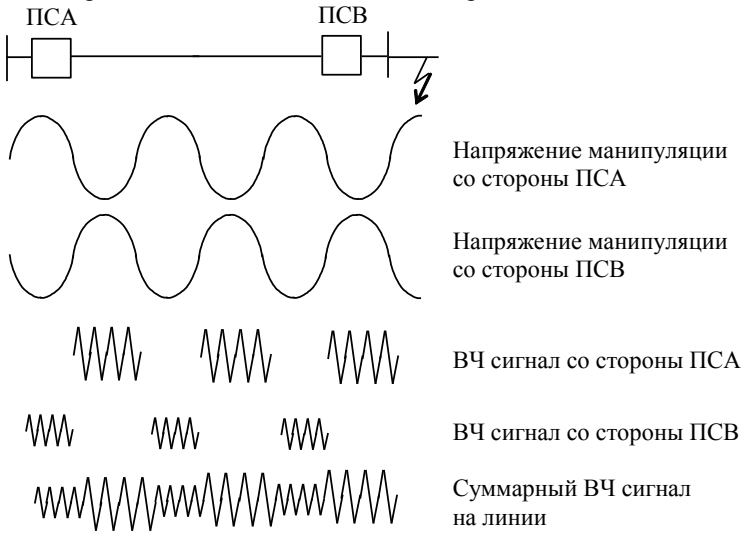


Рис. 3.2. Схема образования ВЧ сигнала на линии при внешнем КЗ

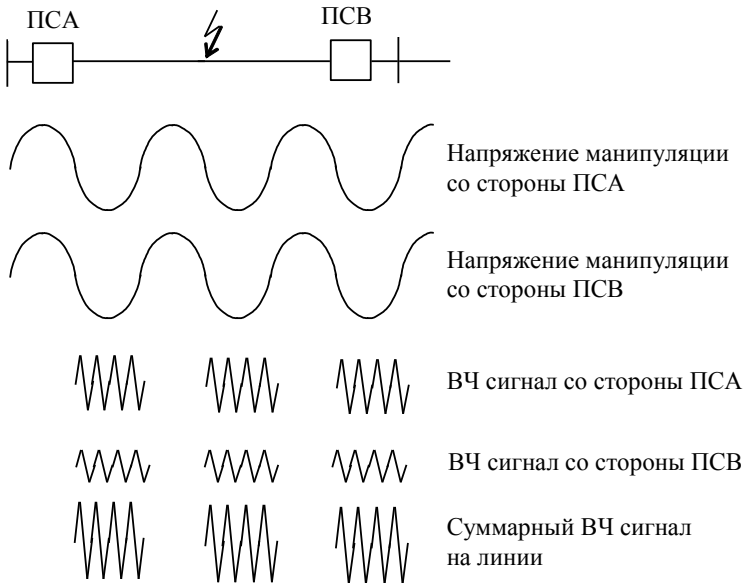


Рис. 3.3. Схема образования ВЧ сигнала на линии при КЗ на защищаемой линии

### **Типы панелей защиты**

В настоящее время в основном в качестве дифференциально-фазных защит линий применяются следующие типы панелей защит.

Панели защит типа ДФЗ–2 и ДФЗ–201 применяются для защиты ЛЭП напряжением 110–220 кВ и имеют время срабатывания порядка 0,06 с.

Панели защит типа ДФЗ–401 и ДФЗ–503 применяются для защиты длинных ЛЭП (примерно, 100 км и более) напряжением 330 кВ и выше и имеют время срабатывания порядка 0,04 с.

Панели защит типа ДФЗ–402 и ДФЗ–504 применяются в основном для защиты более коротких ЛЭП (примерно, до 100 км) напряжением 330 кВ и выше и имеют время срабатывания порядка 0,04 с.

### **Цепи питания защиты**

Питание цепей переменного тока осуществляется от трансформаторов тока защищаемой линии и трансформаторов напряжения шин или линии. Неисправность цепей трансформаторов тока может приводить к мгновенному действию защиты на отключение выключателей данного конца линии. При неисправности цепей напряжения ложного действия защит типа ДФЗ–2, ДФЗ–201, ДФЗ–402 и ДФЗ–504 не происходит. Защиты типов ДФЗ–401 и ДФЗ–503 могут ложно сработать при неисправности цепей напряжения и при появлении указанной неисправности автоматически выводятся из действия.

Неисправность цепей оперативного тока защиты может привести к неселективному отключению линии на противоположном конце при сквозных КЗ.

На линиях с отпайками в схемах ДФЗ дополнительно устанавливаются пусковые органы для отстройки ДФЗ от КЗ за отпайками. В некоторых случаях со стороны отпайек устанавливаются полуккомплекты ДФЗ.

### **Цепи сигнализации**

Пуск защиты сопровождается срабатыванием указательного реле «Пуск защиты».

Это реле срабатывает при КЗ на защищаемой линии и может срабатывать при КЗ на смежных линиях и при неполнофазном режиме.

Срабатывание указательного реле «Вызов» происходит при запуске любого ВЧ передатчика и служит вызовом дежурному персоналу для обмена ВЧ сигналами. Указательное реле «Вызов» может срабатывать также от ВЧ помех на линии.

Действие ДФЗ на отключение сигнализируется указательным реле



«Срабатывание защиты».

#### **Ввод ДФЗ в работу**

В цепи отключения выключателей от ДФЗ установлены накладки. Накладки установлены также в цепи пуска УРОВ и в цепи пуска осциллографа. При наличии на линии ОАПВ пуск УРОВ происходит от внешних выходных реле и накладка «пуск УРОВ» разомкнута.

#### **Оперативное обслуживание ДФЗ дежурным персоналом**

Ввод и вывод ДФЗ производится с двух сторон.

ДФЗ выводится из действия с двух сторон одновременно в следующих случаях:

- при неисправности ВЧ канала;
- при неисправности любого полуконтакта защиты (в том числе при исчезновении оперативного тока релейной части ДФЗ);
- перед заземлением нижней обкладки конденсатора связи;
- при выводе защиты в проверку;
- перед операцией с испытательными блоками в токовых цепях ДФЗ.

На ВЧ постах без автоматического контроля или с выведенным автоматическим контролем один раз в сутки, в заранее установленное время, независимо от того, введена или выведена ДФЗ, дежурный персонал должен произвести обмен ВЧ сигналами для проверки исправности ВЧ канала. Обмен сигналами в полном объеме производится при токах нагрузки не менее указанных для данного комплекта ДФЗ. При недостаточных токах нагрузки обмен сигналами производится, но при этом проверка работы ДФЗ при одновременном пуске ВЧ передатчиков может не дать необходимого результата. После обмена ВЧ сигналами производятся соответствующие записи в специальном журнале.

На ВЧ постах, оборудованных устройством автоматического контроля исправности ВЧ канала, обмен ВЧ сигналами производится автоматически. Ввод и вывод устройства автоматического контроля исправности ВЧ канала должен производиться одновременно с обеих сторон линии во избежание появления сигнала о неисправности ВЧ канала.

Внеплановые проверки ВЧ канала производятся после каждого действия ДФЗ, после проверки ДЗФ и после окончания ремонта линии.

### **3.1.2. Направленная высокочастотная защита линий (ВЧ защита)**

#### **Назначение защиты**

ВЧ защита применяется в качестве основной защиты линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше и предназначена для отключения

без выдержки времени всех видов короткого замыкания. В основном ВЧ защита применяется на ВЛ 110, 220 и 330 кВ. Защита обладает абсолютной селективностью, не действует при перегрузках и асинхронном режиме.

### **Краткое описание защиты**

Защита выполнена на принципе сравнения направления мощности короткого замыкания по концам линии. Защита действует на отключение только при направлении мощности короткого замыкания от шин в линию, т. е. при коротком замыкании на защищаемой линии. Определение направления мощности при коротком замыкании производится при помощи ВЧ сигналов ВЧ постов, установленных по концам линии. Определение направления мощности короткого замыкания производится отдельно при междуфазных КЗ и КЗ на землю.

В состав защиты входят два полукомплекта, установленных по концам защищаемой линии. Каждый полукомплект состоит из релейной части и ВЧ канала.

В состав ВЧ канала входят: ВЧ пост (состоящий из приемника и передатчика высокочастотных сигналов), ВЧ кабель, фильтр присоединения, конденсатор связи, ВЧ заградитель и линия электропередачи.

Релейная часть состоит из 3-х основных органов:

- орган пуска ВЧ передатчика;
- орган останова передатчика;
- орган блокировки.

Структурная схема ВЧ защиты приведена на рис. 3.4.

### **Орган пуска ВЧ передатчика**

Орган пуска при всех видах коротких замыканий осуществляет пуск ВЧ передатчика.

Пусковой орган представляет собой комбинированный фильтр токов обратной и нулевой последовательности. Пусковой орган обладает высокой чувствительностью и производит пуск ВЧ передатчика не только при КЗ на защищаемой линии, но и при КЗ на смежных линиях.

### **Орган останова ВЧ передатчика**

В качестве органа останова используются направленные в сторону линии реле. При междуфазных КЗ в качестве органа останова используются дистанционные реле, а при замыканиях на землю – реле направления мощности нулевой последовательности.

### **Орган блокировки**

Орган блокировки – специальное реле, включенное в выходном каскаде ВЧ приемника.

При появлении на входе ВЧ приемника ВЧ сигнала орган блокировки срабатывает, блокируя действие ВЧ защиты.

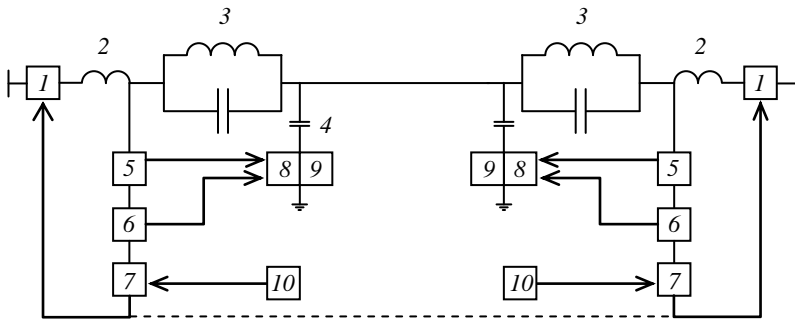


Рис. 3.4. Структурная схема ВЧ защиты

- |                         |                                |
|-------------------------|--------------------------------|
| 1 – выключатель;        | 6 – орган останова;            |
| 2 – трансформатор тока; | 7 – ускоряемые зоны и ступени; |
| 3 – заградитель;        | 8 – ВЧ передатчик;             |
| 4 – конденсатор связи;  | 9 – ВЧ приемник;               |
| 5 – орган пуска;        | 10 – орган блокировки          |

### Выполнение ВЧ канала по ЛЭП

Передача ВЧ сигналов производится по проводам линии электропередачи. Как правило, ВЧ канал работает по схеме фаза–земля. Для выполнения ВЧ канала производится высокочастотная обработка линии, заключающаяся в установке по концам линии ВЧ заградителей и конденсаторов связи. ВЧ заградитель препятствует распространению ВЧ сигнала за пределы защищаемой линии. Конденсатор связи создает путь для ВЧ сигнала и изолирует ВЧ пост от высокого напряжения линии.

### Действие ВЧ защиты при КЗ

#### Внешнее КЗ

При внешних КЗ происходит пуск ВЧ передатчиков с обеих сторон линии. На той стороне линии, где ток КЗ направлен в сторону линии, срабатывают органы останова ВЧ передатчика (при достаточной чувствительности) и останавливают ВЧ передатчик. На противоположной стороне линии, где ток КЗ направлен в сторону линии, срабатывают органы останова ВЧ передатчика (при достаточной чувствительности) и останавливают ВЧ передатчик.

ложной стороне линии, где ток КЗ направлен в сторону шин, органы останова ВЧ передатчика не срабатывают и ВЧ передатчик при этом продолжает работать, передавая на линию ВЧ сигнал. Этот ВЧ сигнал принимается ВЧ приемниками на обоих концах линии и блокирует действие обоих полуккомплектов защиты.

### **КЗ на защищаемой линии**

При КЗ на защищаемой линии в первый момент происходит пуск ВЧ передатчиков на обеих сторонах линии. Но так как ток КЗ с обеих сторон линии направлен в сторону линии, происходит срабатывание органов останова ВЧ передатчиков с обеих сторон. ВЧ сигнал на линии отсутствует, и блокирующий орган дает разрешение на ускорение отключения выключателей линии с обеих сторон.

### **Типы панелей защиты**

ВЧ защиты применяются в двух основных исполнениях: ВЧ блокировка и отдельная ВЧ защита.

ВЧ блокировка в качестве органов останова использует повторители 2-й или 3-й зоны дистанционной защиты, а также реле направления мощности нулевой последовательности, используемое в качестве органа направления мощности в защите от замыканий на землю. ВЧ блокировка ускоряет действие 2-й или 3-й зоны дистанционной защиты, а также 3-й или 4-й ступени защиты от замыканий на землю. Недостатком ВЧ блокировки является то, что при неисправности или выводе из работы дистанционной защиты или защиты от замыканий на землю необходимо выводить из действия ВЧ блокировку.

Время срабатывания ВЧ блокировки: 0,12–0,2 с.

В отдельной ВЧ защите в качестве органов останова ВЧ передатчика применяются отдельные реле (дистанционное и реле направления мощности нулевой последовательности), не связанные с дистанционной защитой и защитой от замыканий на землю защищаемой линии. При этом, в случае неисправности или выводе из действия дистанционной защиты или защиты от замыканий на землю, линия будет иметь быстродействующую основную ВЧ защиту от всех видов короткого замыкания, но без резервирования защит собственной линии и смежных линий.

Время срабатывания ВЧ защиты, выполненной на базе электромагнитических реле – 0,1 с.

Время срабатывания ВЧ защиты, выполненной на микроэлектрон-

ной базе – 0,03–0,04 с.

### **Цепи питания защиты**

Питание цепей переменного тока осуществляется от трансформаторов тока защищаемой линии и трансформаторов напряжения шин или линии. Неисправность цепей оперативного тока защиты может привести к неселективному отключению линии на противоположном конце линии.

### **Цепи сигнализации**

Пуск защиты сопровождается срабатыванием указательного реле «Пуск защиты».

Это реле срабатывает при КЗ на защищаемой линии и может срабатывать при КЗ на смежных линиях и в неполнофазном режиме.

Действие защиты на отключение сигнализируется указательным реле «Срабатывание защиты».

### **Ввод ВЧ защиты в работу**

В цепи отключения выключателей от ВЧ защиты установлены накладки. Накладки установлены также и в цепи пуска УРОВ. При наличии на линии ОАПВ пуск УРОВ происходит от внешних выходных реле и накладка «Пуск УРОВ» разомкнута.

### **Оперативное обслуживание ВЧ защиты дежурным персоналом**

Ввод и вывод ВЧ защиты производится с двух сторон.

ВЧ защита выводится из действия с двух сторон одновременно в следующих случаях:

- при неисправности ВЧ канала;
- при неисправности любого полуккомплекта защиты (в том числе при исчезновении оперативного тока релейной части ВЧ защиты);
- перед заземлением нижней обкладки конденсатора связи;
- перед операцией в токовых цепях ВЧ защиты;
- для ВЧ блокировки – при выводе из действия дистанционной защиты или защиты от замыкания на землю (в случае, если отдельные реле этих защит используются в качестве органов останова ВЧ блокировки);
- при неисправности цепей напряжения (в случае, если нет возможности перевести цепи напряжения на другой ТН);
- при проверке защиты.

### **3.1.3. Направленная дифференциально-фазная высокочастотная защита**

#### **Назначение защиты**

Направленная дифференциально-фазная высокочастотная защита (панель защиты типа ПДЭ–2003) используется в качестве основной быстродействующей защиты линий электропередачи напряжением 500 кВ и выше и состоит из двух полукомплектов, установленных по концам защищаемой линии.

Защита действует при всех видах короткого замыкания как в полнофазном режиме, так и в двухфазном режиме (при отключении одной из фаз в цикле ОАПВ).

Защита обладает высоким быстродействием (время срабатывания защиты составляет 0,02 с), абсолютной селективностью и высокой чувствительностью.

#### **Краткое описание защиты**

Направленная дифференциально-фазная высокочастотная защита состоит из направленной высокочастотной защиты и дифференциально-фазной защиты (ДФЗ).

При полнофазном режиме работы линии защита используется в качестве направленной высокочастотной защиты. Это вызвано тем, что помехоустойчивость направленной высокочастотной защиты на срабатывание по высокочастотному каналу значительно выше, чем у ДФЗ, поскольку ДФЗ действует при появлении на линии прерывистого высокочастотного сигнала, вызванного одновременной работой двух высокочастотных передатчиков по концам линии, а для действия направленной высокочастотной защиты требуется отсутствие блокирующего высокочастотного сигнала. Указанное особенно важно для линий электропередачи напряжением 500 кВ и выше, т. к. эти линии часто обладают значительной длиной, что приводит к значительному затуханию высокочастотного канала.

Также направленная высокочастотная защита допускает работу трансформаторов тока со значительными погрешностями при коротком замыкании на линии, сопровождающимся протеканием больших токов. Однако направленная высокочастотная защита может неправильно действовать после отключения однофазного короткого замыкания на линии и работе линии двумя фазами (в цикле ОАПВ). Поэтому после отключения однофазного короткого замыкания на линии

направленная высокочастотная защита выводится из действия и защита переводится в режим ДФЗ.

Для работы направленной высокочастотной защиты и ДФЗ используется один приемопередатчик (ВЧ пост).

Для правильной работы защиты на длинных линиях электропередачи к измерительным органам защиты подключаются не только токовые цепи, но и цепи напряжения.

### **Оперативное обслуживание защиты дежурным персоналом**

Направленная дифференциально-фазная высокочастотная защита выводится из действия с двух сторон одновременно в следующих случаях:

- при неисправности ВЧ канала;
- при неисправности любого полуконспекта защиты (в том числе при исчезновении оперативного тока релейной части ДФЗ);
- перед заземлением нижней обкладки конденсатора связи;
- перед операций с испытательными блоками в токовых цепях ДФЗ;
- при неисправности цепей напряжения;
- при выводе защиты в проверку.

### **3.1.4. Продольная дифференциальная защита линий (ДЗЛ)**

#### **Назначение защиты**

Продольная дифференциальная защита линий применяется на сравнительно коротких линиях (длиной, примерно, до 20 км) в качестве основной быстродействующей, абсолютно селективной защиты от всех видов коротких замыканий.

#### **Краткое описание устройства защиты**

Защита выполнена на принципе сравнения токов, протекающих по концам защищаемой линии. При токах, превышающих ток срабатывания до 2,5 раз защита сравнивает величины токов по концам линии и их фазы, а при больших токах – фазы этих токов. С помощью комбинированных фильтров ( $I_1 + I_2$ ) трехфазная система токов преобразуется в однофазное напряжение, что позволяет для сравнения величин и фаз токов, протекающих по концам линии, применять однофазный соединительный канал, состоящий из двух соединительных проводов.

В качестве канала связи чаще всего используются провода каналов телефонной связи (кордельные кабели). В некоторых случаях в качестве каналов связи используются контрольные кабели. Как правило, защита имеет два канала соединительных проводов – рабочий и резервный. Для надежности желательно, чтобы рабочий и резервный

каналы проходили в разных кабелях. Переход с рабочего на резервный каналы осуществляется переключателем. В связи с тем, что защита может ложно сработать при обрыве соединительных проводов, в защите применено устройство автоматического контроля исправности соединительных проводов.

### Краткое описание устройства защиты соединительных проводов

Устройство контроля осуществляет автоматический вывод защиты с двух сторон при обрыве соединительных проводов, а при закорачивании соединительных проводов защита автоматически выводится только с той стороны, где не установлен блок питания устройства контроля. Срабатывание устройства контроля сопровождается сигналом «ДЗЛ выведена. Неисправность соединительных проводов». Устройство контроля соединительных проводов осуществляет также контроль изоляции соединительных проводов относительно «земли». Устройство контроля действует при снижении сопротивления изоляции соединительных проводов относительно «земли». При этом ДЗЛ автоматически из действия не выводится. Действие устройство контроля соединительных проводов в этом случае сопровождается сигналом «Земля на соединительных проводах ДЗЛ». Структурная схема ДЗЛ приведена на рис. 3.5.

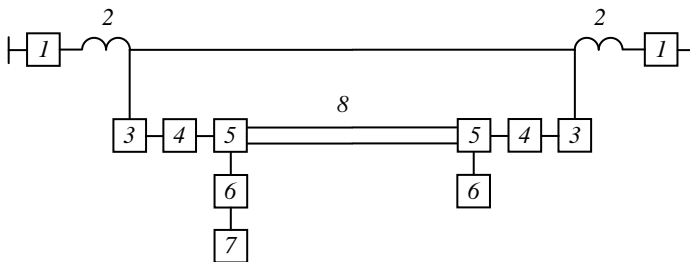


Рис. 3.5. Структурная схема ДЗЛ

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1 – выключатель;                  | 6 – устройство контроля соединительных проводов;              |
| 2 – трансформатор тока;           | 7 – блок питания устройства контроля соединительных проводов; |
| 3 – комбинированный фильтр;       | 8 – соединительные провода                                    |
| 4 – схема сравнения;              |   |
| 5 – разделительный трансформатор; |   |

### Ввод ДЗЛ в работу

В цепи отключения выключателей от ДЗЛ установлены накладки. Накладка установлена также в цепи пуска УРОВ. Действие защиты сопровождается срабатыванием указательного реле.



## **Оперативное обслуживание ДЗЛ дежурным персоналом**

Ввод и вывод ДЗЛ производится с двух сторон.

ДЗЛ выводится из действия с двух сторон одновременно в следующих случаях:

- при появлении сигнала «ДЗЛ выведена. Неисправность соединительных проводов»;
- перед операцией в токовых цепях с одной из сторон линии;
- при проверке панели ДЗЛ на любом конце линии;
- при проверках соединительных проводов;
- при выводе выключателя совместно с трансформатором тока в проверку;
- при работах в токовых цепях ДЗЛ.

При появлении сигнала «ДЗЛ выведена. Неисправность соединительных проводов» дежурный персонал должен проверить питание схемы контроля и затем перейти с рабочего на резервный канал с двух сторон линии. Если после перехода на резервный канал сигнал неисправности проводов снимается, ДЗЛ может быть введена в действие с двух сторон на резервном канале соединительных проводов.

При сигнале «Земля на соединительных проводах ДЗЛ» необходимо выполнить перевод с основных жил соединительных проводов на резервные жилы с двух сторон. Если после перевода на резервные жилы сигнал «Земля на соединительных проводах ДЗЛ» не снимается, ДЗЛ должна быть выведена с двух сторон.

## **3.2. Резервные защиты**

### **3.2.1. Дистанционная защита (ДЗ)**

#### **Назначение защиты**

Дистанционная защита (ДЗ) предназначена для действия при междофазных коротких замыканиях в качестве основной или резервной защиты для линий электропередачи и в качестве резервной защиты для трансформаторов и автотрансформаторов.

#### **Краткое описание защиты**

Дистанционная защита – защита с относительной селективностью, выполняется с использованием реле минимального сопротивления (реагирует на отношение напряжения, подаваемого на реле к току в реле) и срабатывает при снижении напряжения и увеличении тока, фиксируемых в месте установки защиты. Работа реле сопротивления определяется местом положением короткого замыкания по отношению к месту их включения. Это отношение пропорционально расстоянию до места

повреждения – дистанции, что и определило название защиты.

ДЗ, применяемые в сетях 110 кВ и выше, как правило, выполняются направленными. В сетях 35 кВ используются направленные и ненаправленные ДЗ. Защита может быть выполнена с одной, двумя и тремя зонами действия. Характеристика ДЗ выполняется по встречно-ступенчатому принципу.

1-я зона защиты, как правило, действует без выдержки времени и защищает только часть линии (примерно 85 %).

2-я зона защиты защищает, как правило, всю линию, резервирует защиту шин противоположной подстанции и часть линий, отходящих от шин противоположной подстанции. 2-я зона действует с выдержкой времени.

3-я зона защиты резервирует защиту всей линии, защиту шин противоположной подстанции и часть линий или всю длину линий, отходящих от шин противоположной подстанции. Зона резервирования 3-й зоны защиты больше, чем зона резервирования 2-й зоны. Выдержка времени действия 3-й зоны защиты больше выдержки времени 2-й зоны.

В связи с тем, что в качестве реле сопротивления в дистанционной защите используются реле минимального сопротивления, для исключения ложного действия защиты при неисправности цепей напряжения, а также при качаниях и асинхронном режиме в дистанционных защитах имеются следующие блокирующие устройства.

Блокировка при неисправности цепей напряжения.

При неисправности (обрыве) цепей напряжения (цепи «звезды» вторичной обмотки трансформатора напряжения), питающих реле сопротивления, указанные реле могут ложно сработать. Чтобы при этом дистанционная защита не подействовала на отключение, при неисправности цепей напряжения дистанционная защита выводится из действия блокировкой при неисправности цепей напряжения.

Блокировка при качаниях.

Режим качаний и асинхронный режим сопровождаются увеличением токов по линиям и снижением напряжения в некоторых узлах энергосистемы. При этом реле сопротивления в некоторых узлах энергосистемы могут ложно сработать. Для исключения ложной работы защиты при качаниях и асинхронном режиме дистанционная защита выводится из действия блокировкой при качаниях. При возникновении короткого замыкания блокировка при качаниях вводит в действие дистанционную защиту.

Характеристики дистанционной защиты выбираются по встречно-ступенчатому принципу. Характеристика дистанционной защиты приведена на рис. 3.6.

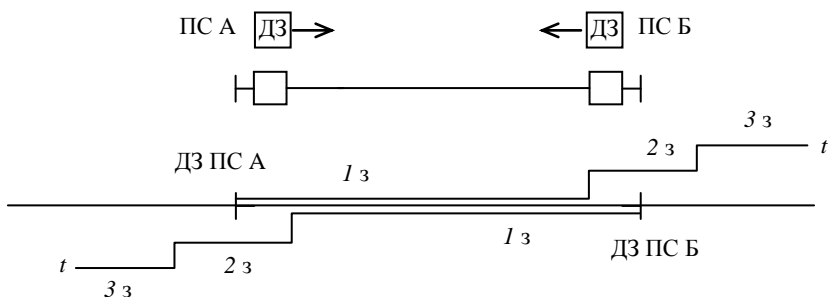


Рис. 3.6. Характеристика дистанционной защиты

Недостатком встречно-ступенчатого принципа построения характеристик защит является то, что на линии есть участки, КЗ на которых с одной из сторон отключается с выдержкой времени.

Преимуществом дистанционного принципа является то, что длины ступеней (зон) защиты постоянны и не зависят от режима работы данного узла энергосистемы.

Для осуществления отключения короткого замыкания по всей длине линии без выдержки времени выполняется автоматическое ускорение 2-й или 3-й зоны дистанционной защиты при включении выключателя от устройства АПВ или дежурным персоналом. Автоматическое ускорение вводится на время 1–2 секунды после включения выключателя. Если в течение этого времени короткое замыкание на защищаемой линии не зафиксировано, автоматическое ускорение выводится из действия.

В некоторых случаях при выводе из действия основной быстродействующей защиты линии для обеспечения динамической устойчивости выполняется оперативное ускорение 2-й или 3-й зоны дистанционной защиты. Оперативное ускорение вводится в действие дежурным персоналом. При вводе оперативного ускорения снижается выдержка времени ускоряемой зоны защиты до величин, обеспечивающих динамическую устойчивость узла энергосистемы, в котором установлена данная дистанционная защита.

При вводе оперативного ускорения зоны дистанционной защиты снижается селективность данной зоны защиты с дистанционными защитами других линий.

На линии, оборудованной устройствами передачи команд телеотключения (ТО), как правило, выполняется ускорение 2-й или 3-й зон

дистанционной защиты при отключении линии на противоположном конце. Выполнение ускорения дистанционной защиты по командам ТО с обеих сторон линии позволяет отключать междуфазные короткие замыкания по всей длине линии без выдержки времени.

Дистанционная защита может быть использована в качестве резервной защиты трансформаторов и автотрансформаторов. В этом случае дистанционная защита резервирует защиты линий, отходящих от шин данной подстанции и собственные защиты трансформатора (автотрансформатора).

Дистанционная защита, как правило, действует на отключение 3-х фаз выключателя.

Но иногда, на линиях оборудованных устройствами ОАПВ, некоторые зоны дистанционной защиты могут действовать на пуск устройства ОАПВ.

### **Оперативное обслуживание дистанционной защиты дежурным персоналом**

Несмотря на то, что дистанционная защита предназначена для действия при междуфазных коротких замыканиях, некоторые зоны ДЗ могут действовать при однофазных коротких замыканиях с сокращением зоны действия.

Дежурный персонал должен следить за исправностью всех цепей напряжения, включая трансформатор напряжения. При появлении сигнала «Неисправность цепей напряжения ДЗ» дежурный персонал должен вывести из действия дистанционную защиту и принять меры по восстановлению цепей напряжения.

## **3.2.2. Токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП)**

### **Назначение защиты**

Для защиты линий и трансформаторов от коротких замыканий на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью применяется защита, реагирующая на ток и мощность нулевой последовательности. Необходимость специальной защиты от коротких замыканий на землю вызвана тем, что этот вид повреждения является преобладающим, а защита, включенная на ток и напряжение нулевой последовательности, осуществляется более просто и имеет ряд преимуществ по сравнению с другими принципами выполнения защит.

ТЗНП применяется также в качестве резервной защиты на междушинных (МШВ) и секционных выключателях (СВ). ТЗНП – защита с относительной селективностью.

### **Краткое описание защиты**

ТЗНП выполняется в виде направленных ступеней максимальных токовых защит и токовой отсечки. Отдельные ступени ТЗНП могут выполняться и ненаправленными. Характеристики ТЗНП выбираются по встречно-ступенчатому принципу (аналогично характеристикам дистанционных защит).

Недостатком встречно-ступенчатого принципа построения характеристик защит является то, что на линии есть участки, КЗ на которых с одной из сторон отключается с выдержкой времени.

В отличие от дистанционных защит длины ступеней ТЗНП могут уменьшаться в зависимости от режима работы энергосистемы.

ТЗНП чаще всего выполняется 3-х или 4-х ступенчатой.

1-я ступень защиты, как правило, действует без выдержки времени и защищает только часть линии.

2-я ступень защиты защищает, как правило, всю линию, резервирует защиту шин противоположной подстанции и часть линий, отходящих от шин противоположной подстанции. 2-я зона действует с выдержкой времени.

3-я ступень защиты резервирует защиту всей линии, защиту шин противоположной подстанции и часть линий или всю длину линий, отходящих от шин противоположной подстанции. Зона резервирования 3-й ступени защиты больше, чем зона резервирования 2-й ступени. Выдержка времени действия 3-й ступени защиты больше выдержки времени 2-й ступени.

4-я ступень наиболее чувствительная. Зона ее резервирования больше, чем у 3-й ступени. Выдержка времени 4-й ступени ТЗНП больше выдержки времени 3-й ступени.

В качестве органа направления защиты используются реле направления мощности. Токовые реле ступеней ТЗНП и токовая обмотка реле направления мощности включаются в нулевой провод трансформаторов тока на ток нулевой последовательности. Обмотка напряжения реле направления мощности подключается к вторичной обмотке трансформатора напряжения, включенной по схеме «разомкнутый треугольник», т. е. на напряжение нулевой последовательности.

ТЗНП применяется в качестве основной или резервной защиты от коротких замыканий на землю и осуществляет защиту собственной линии (трансформатора, МШВ, СВ) и резервирует короткие замыкания на землю на шинах противоположных подстанций и присоединений, отходящих от шин противоположных подстанций.

В некоторых случаях при возникновении неполнофазного режима

в сети наиболее чувствительные ступени ТЗНП (3-я или 4-я ступени) могут действовать неселективно.

На линиях, оборудованных устройствами ОАПВ – в цикле ОАПВ, т. е. после отключения поврежденной фазы, автоматически выводятся из действия ступени ТЗНП, которые могут сработать от тока неполнофазного режима. После успешного ОАПВ эти ступени автоматически вводятся в действие.

Для отключения короткого замыкания по всей длине линии без выдержки времени выполняется автоматическое ускорение 2-й или 3-й ступени ТЗНП при включении выключателя от устройства АПВ или дежурным персоналом. Автоматическое ускорение вводится на время 1–2 секунды после включения выключателя. Если в течение этого времени короткое замыкание на защищаемой линии не зафиксировано, автоматическое ускорение выводится из действия.

В некоторых случаях при выводе из действия основной быстродействующей защиты линии для обеспечения динамической устойчивости выполняется оперативное ускорение 2-й или 3-й ступени ТЗНП. Оперативное ускорение вводится в действие дежурным персоналом. При вводе оперативного ускорения снижается выдержка времени ускоряемой зоны защиты до величин, обеспечивающих динамическую устойчивость узла энергосистемы, в котором установлена данная защита.

При вводе оперативного ускорения 2-й или 3-й ступени ТЗНП снижается селективность данной ступени защиты с ТЗНП других линий.

На линии, оборудованной устройствами передачи команд телеотключения (ТО), как правило, выполняется ускорение 2-й или 3-й ступени ТЗНП при отключении линии на противоположном конце. Выполнение ускорения ТЗНП по командам ТО с обеих сторон линии позволяет отключать короткие замыкания на землю по всей длине линии без выдержки времени.

Обрыв или закорачивание фазы токовых цепей во вторичных цепях трансформаторов тока может приводить к ложному действию ступеней ТЗНП, не отстроенных от тока нагрузки. По этой причине ступени ТЗНП, не отстроенные от тока нагрузки, необходимо выводить из действия при проверке правильности фазировки ТЗНП.

Целостность цепей  $3U_0$  определяется при помощи прибора, контролирующего наличие напряжения небаланса  $3U_0$ , либо специальным устройством. Обрыв цепей  $3U_0$  может приводить к отказу или

ложному действию направленных ступеней ТЗНП.

### **Оперативное обслуживание ТЗНП дежурным персоналом**

При обнаружении обрыва цепи  $3U_0$  (по результатам замера напряжения небаланса или при появлении сигнала «Неисправность цепей  $3U_0$ ») выводить ТЗНП не требуется, однако, надо иметь в виду, что направленные ступени ТЗНП могут отказать при КЗ на защищаемой линии или действовать неселективно при внешних КЗ.

Если неисправность устранить не удастся, линию необходимо перевести на другую систему шин с исправными цепями  $3U_0$  или включить через ОВ.

Если ТЗНП является резервной защитой для данной линии, т. е. на линии введена основная защита, а на противоположном конце линии подстанция имеет сборные шины с ДЗШ, можно линию оставить на этой системе шин до устранения неисправности цепей  $3U_0$ .

Если одна из ступеней ТЗНП сработала на отключение линии неселективно из-за неполнофазного режима, то подействовавшую и более чувствительную ступени ТЗНП необходимо вывести из действия. Указанные ступени ТЗНП вводятся в действие после ликвидации неполнофазного режима.

При операциях с испытательными блоками, установленными в токовых цепях ТЗНП присоединения, находящегося под нагрузкой, возможен случай перекоса крышки испытательного блока. При этом может возникнуть неполнофазный режим во вторичных цепях трансформатора тока, питающего ТЗНП, и чувствительные ступени ТЗНП, не отстроенные от тока нагрузки, могут подействовать на отключение присоединения. Для исключения данного явления перед операцией с испытательными блоками, установленными в токовых цепях ТЗНП, необходимо вывести из действия те ступени ТЗНП, которые не отстроены от тока нагрузки. После окончания операции с испытательными блоками указанные ступени ТЗНП вводятся в действие.

### **3.2.3. Токовая защита нулевой последовательности с контролем направления мощности нулевой последовательности в параллельной линии («поперечная» направленная защита от замыканий на землю)**

#### **Назначение защиты**

Защита применяется на параллельных линиях в сетях с глухозаземленной нейтралью (сети классов напряжения 110 кВ и выше) и позволяет селективно отключать с небольшой выдержкой времени (как

правило, не более 0,15 с) КЗ на землю в любом месте на любой из параллельных линий.

### Краткое описание защиты

Защита выполнена на принципе измерения направления мощности нулевой последовательности на обеих параллельных линиях. Если на обеих линиях мощности нулевой последовательности ( $P_{0л1}$  и  $P_{0л2}$ ) направлены одинаково (в сторону линий или в сторону шин), то защита не действует (см. рис. 3.7, внешнее КЗ). Это происходит при КЗ за пределами защищаемых линий. Если на одной линии мощность нулевой последовательности направлена в сторону линии ( $P_{0л1}$  ПС А), а по параллельной линии – в сторону шин ( $P_{0л2}$  ПС А), то защита срабатывает и действует на отключение той линии, на которой мощность нулевой последовательности направлена в сторону линии – т. е. на отключение выключателя Л1 на ПС А (см. рис.3.8, КЗ на линии Л1). При указанном на рис. 3.8 направлении мощности нулевой последовательности сначала создаются условия для действия защиты на Л1 на ПС А. После отключения выключателя Л1 на ПС А мощность нулевой последовательности по Л2 меняет свое направление на противоположное. При этом создаются условия для срабатывания защиты на Л1 на ПС Б. В данном случае защиты по концам линии Л1 работают поочередно (каскадно) – сначала на ПС А, затем – на ПС Б.

В случае возникновения КЗ на линии Л1 в зоне действия 1-й ступени (без выдержки времени) ТЗНП Л1 на ПС Б происходит отключение линии Л1 на ПС Б, после чего создаются условия для действия «поперечной» направленной защиты от замыканий на землю Л1 на ПС А.



Рис. 3.7. Направление токов КЗ при внешнем КЗ



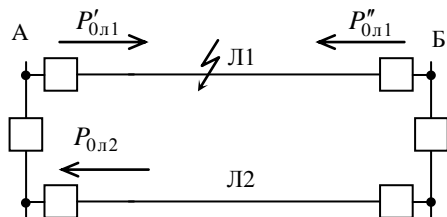


Рис. 3.8. Направление токов КЗ при КЗ на линии Л1

Защита сохраняет селективность работы только на параллельных линиях. В случае работы линий на разные системы шин с отключенным междушинным (секционнным) выключателем, защита может работать неселективно на обоих концах линии. На подстанции, где произошло отключение междушинного (секционного) выключателя, защита выводится из действия автоматически. С другой стороны линии защита автоматически не выводится и должна быть выведена дежурным персоналом без промедления. В схеме защиты предусмотрена накладка для шунтирования контроля положения междушинного выключателя. Эта накладка должна быть замкнута в режиме, когда обе параллельные линии включены на одну систему шин.

При работе одной из параллельных линий в тупиковом режиме возможно неселективное действие защиты при внешнем КЗ на землю на линии оставшейся в работе в транзитном режиме.

При неполнофазном режиме работы в сети защита обеспечивает селективное действие.

Защита, как правило, выполняется на базе типовых панелей защиты (ЭПЗ–1636, ШДЭ–2801 (2)). Действие защиты сигнализируется указательным реле, расположенным на указанных панелях защиты. Защита имеет отдельную накладку для осуществления ее ввода и вывода. Как правило, в качестве выходных реле защиты используются выходные реле ТЗНП. В этом случае защита не имеет накладки в цепи пуска УРОВ.

### **Оперативное обслуживание «поперечной» направленной защиты от замыканий на землю дежурным персоналом**

«Поперечная» защита выводится из действия в следующих случаях:

- если на одной из параллельных линий или на обеих линиях произойдет обрыв цепи напряжения  $3U_0$ , защита выводится из действия на обеих линиях только на той подстанции, на которой произошла указанная неисправность;

– при раздельной работе линий на разные системы шин с отключенным междушинным выключателем – защита должна быть выведена на обеих линиях с двух сторон;

– при отключении с двух сторон одной из параллельных линий или отключении ее только с одной стороны необходимо на линии, находящейся в транзитном режиме вывести защиту с двух сторон;

– на линии, работающей в тупиковом режиме (с отключенным выключателем на противоположной стороне линии) следует сохранять защиту в действии;

– при переводе параллельных линий на одну систему шин необходимо замкнуть накладку, шунтирующую контроль положения междушинного выключателя. Защита при этом с обеих сторон линии остается в работе;

– при работах релейного персонала в цепях «поперечной» защиты или ТЗНП на одной из параллельных линий должны быть предварительно выведены из действия «поперечные» защиты на обеих линиях только на той подстанции, где производятся указанные работы.

### **3.3. Устройство автоматического повторного включения (АПВ)**

#### **Назначение устройства**

Устройство АПВ предназначено для автоматического включения выключателя отключившегося элемента энергосистемы для восстановления схемы электроснабжения.

Работа АПВ характеризуется следующими параметрами: успешностью, эффективностью и надежностью.

Успешность АПВ характеризуется отношением числа повторных включений выключателей действием АПВ, после которых не произошло немедленного отключения выключателей действием устройств релейной защиты к общему числу действий АПВ.

По статистике успешность АПВ составляет:

– для 1-го цикла АПВ: 65–70 %;

– для 2-го цикла АПВ: 10–15 %.

Эффективность АПВ характеризуется величиной ущерба, который мог бы иметь место при отсутствии на данном присоединении АПВ.

Высокую эффективность имеют АПВ на тупиковых линиях, в период грозовой деятельности, при коротких замыканиях (КЗ) на шинах и в других случаях.

Надежность действия АПВ характеризуется отсутствием отказов действий АПВ.

### **Краткое описание устройства**

В большинстве случаев АПВ запускается по фактору несоответствия положения выключателя и ключа управления этим выключателем. В случае, когда ключ управления выключателем установлен в положение «включено», а выключатель оказался в отключенном положении – происходит запуск устройства АПВ. Это может быть в том случае, когда выключатель отключился от устройств релейной защиты. Если выключатель отключается от ключа управления дежурным персоналом, несоответствия между положением ключа управления и положением выключателя не возникает. В этом случае АПВ не запускается. Некоторые устройства АПВ запускаются при действии устройств релейной защиты.

Устройства АПВ имеют время готовности, т. е. после включения выключателя АПВ готово к работе через определенное время. Это время составляет 20 секунд – для однократных АПВ и первого цикла двухкратных АПВ и 60 секунд для второго цикла двухкратных АПВ. Время готовности АПВ необходимо для исключения быстрого расходования ресурса работы выключателя при часто повторяющихся КЗ.

### **Классификация устройств АПВ**

АПВ классифицируется по следующим параметрам.

1. По воздействию на выключатель: на включение 3-х фаз или на включение одной фазы.

Большинство устройств АПВ действуют на включение 3-х фаз выключателя после его трехфазного отключения действием устройств релейной защиты. При наличии на линии устройств ОАПВ устройства трехфазного автоматического включения обозначаются: ТАПВ. При отсутствии на линии устройства ОАПВ устройства трехфазного автоматического включения обозначаются: АПВ.

В сетях с глухозаземленными нейтралью трансформаторов и автотрансформаторов (сети 110 кВ и выше) при однофазном КЗ на линии можно отключить с обеих сторон только поврежденную фазу с последующим ее включением устройством однофазного повторного включения (ОАПВ).

2. По кратности действия: однократные и двухкратные.

Большинство устройств АПВ однократного действия. Двухкратные АПВ применяются на тупиковых линиях, в случае, когда питаемый по тупиковой линии потребитель не имеет другого источника питания. В некоторых случаях возможно применение двухкратного АПВ на линиях, оборудованных устройством ОАПВ. При этом, с меньшей

выдержкой времени ТАПВ действует при междуфазных КЗ на линии с последующим ее отключением действием устройств релейной защиты на отключение 3-х фаз, а с большей – после неуспешного ОАПВ.

### 3. По времени действия.

Большинство устройств АПВ выполнены с выдержкой времени (1 секунда и более).

Выдержка времени АПВ должна быть достаточной, чтобы выключатель после отключения короткого замыкания (КЗ) был готов к повторному включению. Также выдержка времени АПВ должна быть больше времени деионизации места, где произошло КЗ.

Некоторые устройства АПВ – быстродействующие устройства АПВ (БАПВ) – не имеют выдержки времени или действуют с выдержкой времени менее 0,5 секунды.

Две энергосистемы или два узла одной энергосистемы может соединять одиночная линия или при наличии одиночной линии связи есть еще линии слабой связи (линии более низкого класса напряжения, по которым передается значительно меньшая мощность).

В этом случае, при КЗ на одиночной линии связи и отключении ее действием устройств релейной защиты угол между напряжениями по концам линии может увеличиваться. Если на такой линии установить АПВ, действующее с выдержкой времени, то к моменту включения выключателей линии от АПВ углы напряжений по концам линии увеличатся настолько, что их синхронное включение будет невозможно. На указанных выше линиях устанавливаются устройства быстродействующего АПВ (БАПВ). Применение устройств БАПВ позволяют при успешном действии сохранить синхронную работу между двумя энергосистемами или двумя узлами энергосистемы, т. к. к моменту включения выключателей линии действием БАПВ угол между напряжениями по концам линии не успевает достичь предельно допустимого.

БАПВ введено в действие только при наличии на линии основной быстродействующей защиты.

### 4. По вариантам использования контрольных органов.

В схемах АПВ установлены контрольные органы, которые используются в цепи пуска АПВ. В качестве контрольных органов АПВ могут быть использованы следующие:

- фактор контроля отсутствия напряжения на линии;
- фактор контроля отсутствия напряжения на шинах;
- фактор контроля синхронизма.

Контрольные органы «контроль отсутствия напряжения на линии» и «контроль отсутствия напряжения на шинах» имеют накладки, позволяющие вводить их в действие в зависимости от режима. Контрольный орган «контроль синхронизма» накладку не имеет и введен в действие постоянно.

Иногда используются комбинированные контрольные органы:

– контроль отсутствия напряжения на линии + контроль наличия напряжения на шинах;

– контроль отсутствия напряжения на шинах + контроль наличия напряжения на линии.

Применение комбинированных контрольных органов позволяет выполнять АПВ по фактору контроля отсутствия напряжения на линии (шинах) только при наличии напряжения на шинах (линии). Комбинированные контрольные органы позволяют исключить излишние действия АПВ, если со стороны, с которой подается напряжение для опробования, это напряжение отсутствует.

В схеме АПВ вводится фактор контроля отсутствия напряжения на линии на той подстанции, от которой решено опробовать линию после ее отключения действием устройств релейной защиты.

Фактор контроля отсутствия напряжения на шинах вводится на том присоединении, которое выбрано для опробования шин после действия ДЗШ.

По фактору контроля синхронизма АПВ действует в том случае, когда с обеих сторон отключенного выключателя напряжения имеют номинальную (или близкую к номинальной) величину и угол между этими напряжениями за время действия АПВ не превышает определенной величины (обычно –  $40^\circ$ ). Фактор контроля синхронизма позволяет включить под нагрузку присоединение (в частности, линию) при успешном АПВ линии с противоположной стороны.

В некоторых случаях, когда это допустимо, АПВ вводится без контрольных органов (несинхронное АПВ).

В комплекте с устройствами автоматической частотной разгрузки (АЧР) применяются устройства частотного АПВ (ЧАПВ). Эти устройства действуют на включение выключателей присоединений, отключенных действием АЧР, после восстановления частоты в системе до величин, близких к нормальной.

При действии некоторых устройств релейной защиты и автоматики (УРОВ, ЗНФ и др.) выполняются цепи запрета АПВ. При действии указанных устройств на отключение выключателя происходит запрет действия их устройств АПВ. Этот запрет может быть снят после восстановления схемы сети и квитирования ключа управления выключателя дежурным персоналом.

В некоторых случаях при действии устройств автоматики требуется вывести из действия АПВ на некоторых присоединениях на некоторое время до восстановления первичной схемы сети. В этом случае в схемах АПВ применяется блокировка действия АПВ. После действия устройств автоматики некоторые устройства АПВ блокируются. При восстановлении первичной схемы узла сети команда блокировки АПВ может быть снята автоматически или дежурным персоналом. АПВ при этом вводится в действие и происходит включение выключателя отключенного устройством автоматики.

#### **Оперативное обслуживание устройств АПВ дежурным персоналом**

Дежурному персоналу следует помнить, что быстрое квитирование ключа управления выключателя после отключения его действием устройств релейной защиты может привести к срыву действия АПВ.

### **3.4. Устройство однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ)**

#### **Назначение устройства**

На линиях 220 кВ и выше, оборудованных выключателями с пофазным приводом, иногда устанавливаются устройства однофазного автоматического повторного включения. Устройство ОАПВ позволяет сохранить параллельную работу по линии при однофазных КЗ, что способствует повышению устойчивости работы энергосистемы.

#### **Краткое описание устройства**

Устройство ОАПВ запускается при действии основной быстродействующей защиты линии и от тех ступеней и зон резервных защит (ТЗНП и ДЗ), которые действуют при однофазных КЗ на защищаемой линии. На пуск ОАПВ могут действовать также ускоренные по командам телеотключения некоторые ступени и зоны резервных защит.

Устройство ОАПВ выполняет следующие функции:

– при однофазных КЗ определяет поврежденную фазу и отключает ее с обеих сторон линии;

– действует на отключение 3-х фаз линии при всех видах многофазных КЗ;

– действует на отключение 3-х фаз линии при неуспешном ОАПВ;

– действует на отключение 3-х фаз линии при отказе органов, выбирающих поврежденную фазу (избирательных органов);

– действует на отключение 3-х фаз линии при любом виде КЗ в цикле ОАПВ.

В качестве избирательных органов ОАПВ для определения поврежденной фазы используются реле напряжения и реле минимального сопротивления. В некоторых случаях при недостаточной чувствительности реле напряжения и реле минимального сопротивления в качестве избирательных органов ОАПВ используются более чувствительные фильтровые избирательные органы.

В цикле ОАПВ автоматически выводятся из действия те ступени ТЗНП, которые по току и по времени не отстроены от параметров неполнофазного режима.

### **Оперативное обслуживание ОАПВ дежурным персоналом**

Устройства ОАПВ выводятся из действия одновременно с двух сторон. Перед выводом ОАПВ из действия все защиты линии переводятся на отключение 3-х фаз.

ОАПВ выводится из действия в следующих случаях:

- при неисправности цепей напряжения;
- при неисправности;
- при замене собственных резервных защит линии подменными защитами, если они не имеют цепей пуска ОАПВ;
- при проверках.

### **3.5. Устройство автоматического повторного включения с улавливанием синхронизма (АПВУС)**

#### **Назначение устройства**

При отключении некоторых линий происходит разделение энергосистем или отдельной энергосистемы на несинхронно работающие части. При неустойчивом повреждении на линии по фактору контроля отсутствия напряжения происходит успешное АПВ выключателя с одной из сторон линии. При этом, на выключателе с другой стороны линии (со стороны шин и со стороны линии) напряжения могут иметь разную частоту и угол между этими напряжениями может изменяться. Ранее рассмотренные контрольные органы устройств АПВ (в частности, контроль синхронизма) в этих условиях не позволяют включить отключенный выключатель от устройства АПВ. Первичные регуляторы турбин на электростанциях не всегда способны обеспечить необходимые условия для включения выключателя линии от устройства АПВ по фактору контроля синхронизма. При отсутствии или недостаточной эффективности устройств вторичного регулирования требуется вме-

шательство дежурного персонала для осуществления регулирования частоты. При этом значительно увеличивается время включения на параллельную работу отключенной линии.

### **Краткое описание устройства**

Для включения линии на параллельную работу после успешного АПВ с одной из сторон в условиях разности частот и угла между напряжениями на шинах и линии с другой стороны линии устанавливается устройство автоматического повторного включения с улавливанием синхронизма (АПВУС). Это устройство позволяет в указанных выше условиях включить линию на параллельную работу. Устройство АПВУС действует при разности частот напряжений на шинах и линии не больше определенной величины на включение выключателя с определенным временем опережения, учитывающим время включения выключателя, с таким расчетом, чтобы к моменту замыкания силовых контактов выключателя угол между напряжениями шин и линии был не больше допустимого.



## 4. Защита от непереключения фаз выключателя (ЗНФ)

### Назначение защиты

При включении выключателя, имеющего пофазный привод (воздушные выключатели, масляные и маломасляные выключатели 220 кВ, некоторые типы элегазовых выключателей 220 кВ), возможен режим, когда одна или две фазы выключателя остаются в положении «отключено». При этом на присоединении возникает неполнофазный режим.

Такой же режим выключателя может возникнуть и при неполнофазном отключении выключателя.

Неполнофазный режим может сопровождаться протеканием несимметричных токов нагрузки, опасных в некоторых случаях для электрооборудования. Для защиты от указанного выше режима на выключателях, имеющих пофазный привод, устанавливается защита от непереключения фаз (ЗНФ).

### Краткое описание защиты

Защита приходит в действие при несоответствии положения блок-контактов различных фаз выключателя. Блок-контакты выключателя установлены в шкафу управления и повторяют положение силовых контактов выключателя. При подаче команды на включение выключателя блок-контакты всех фаз выключателя переходят из положения «отключено» в положение «включено». При отказе во включении одной или двух фаз выключателя блок-контакты этой фазы (фаз) остаются в положении «отключено», а блок-контакт включившейся фазы (фаз) оказывается в положении «включено». Подобное явление может быть и при неполнофазном отключении выключателя. Возникающее при этом несоответствие положения блок-контактов фаз выключателя приводит к пуску ЗНФ.

Рассмотрим некоторые варианты выполнения ЗНФ.

1. Линии 110–220 кВ (без ОАПВ) без отпайек и двухобмоточные трансформаторы.

Защита выполняется с одной ступенью по времени, действующей на отключение собственного выключателя с запретом АПВ, нарушение канала быстродействующей защиты для отключения линии на противоположном конце (для ЛЭП) и пуск УРОВ. Выдержка времени защиты составляет обычно 0,2–0,5 с (для отстройки от равноновременности включения фаз выключателя).

2. Линии 110–220 кВ (без ОАПВ) с отпайками, автотрансформаторы и трехобмоточные трансформаторы.

Защита выполняется с двумя выдержками времени: с 1-й выдержкой времени защита действует на отключение собственного выключателя, а со 2-й – по наличию тока нулевой последовательности – на нарушение канала быстродействующей защиты для отключения линии с противоположной стороны или на отключение автотрансформатора (трехобмоточного трансформатора). При отключении линии, автотрансформатора (трехобмоточного трансформатора) от ЗНФ происходит запрет АПВ выключателя и пуск УРОВ.

### 3. Линии с ОАПВ, подключенные через один выключатель.

Защита выполняется с двумя выдержками времени: с 1-й выдержкой времени защита срабатывает при бездействии схемы ОАПВ. При срабатывании схемы ОАПВ 1-я ступень защиты блокируется, и защита действует со второй выдержкой времени, отстроенной от времени действия ОАПВ. Защита действует на отключение с запретом АПВ выключателя, на нарушение канала быстродействующей защиты для отключения линии с противоположной стороны и пуск УРОВ. При наличии на линии канала передачи сигналов телеотключения для отключения линии с запретом АПВ с противоположной стороны может быть использована одна из команд аппаратуры телеотключения.

### 4. Линии с ОАПВ, подключенные через два выключателя (схемы многоугольников, полуторные схемы).

В этом случае каждый выключатель присоединения (линии, автотрансформатора, и т. д.) имеет собственную защиту от непереключения фаз – «индивидуальную ЗНФ», выполняемую, как описано в п.1. При неполнофазном включении одного выключателя неполнофазный режим работы на присоединении возникает только в том случае, когда второй выключатель присоединения отключен. Поэтому для присоединений, имеющих два выключателя одного класса напряжения помимо индивидуальной ЗНФ, выполняется суммарная ЗНФ (иногда эта защита имеет термин – общая ЗНФ).

Суммарная ЗНФ пускается при действии индивидуальной ЗНФ, контролирует наличие тока неполнофазного режима по присоединению и тока нагрузки через смежный выключатель. Защита выполняется с выдержкой времени на 0,3 с большей, чем выдержка времени индивидуальной защиты. Суммарная ЗНФ действует при неуспешном действии индивидуальной защиты, если смежный выключатель данного присоединения отключен и по присоединению протекает ток неполнофазного режима, величины, достаточной для действия суммарной ЗНФ.

Если присоединение ранее было включено через один из выключателей полнофазно, а происходит неполнофазное включение другого выключателя этого присоединения, суммарная ЗНФ в этом случае не действует. Суммарная ЗНФ действует на отключение данного присоединения с запретом АПВ, нарушение канала быстродействующей защиты и на пуск УРОВ. При наличии на линии передатчика устройства телеотключения команда о действии суммарной ЗНФ передается на противоположный конец линии для отключения линии с запретом АПВ.

### **Оперативное обслуживание ЗНФ дежурным персоналом**

Если при действии ЗНФ неполнофазный режим на присоединении сохраняется, необходимо принять меры по ликвидации этого режима. Для этого можно рекомендовать следующее.

1. По возможности включить выключатель, который бы зашунтировал неполнофазно включенный выключатель.

2. Если в неполнофазном режиме находится линия без отпаек, указанный режим может быть ликвидирован отключением линии на противоположном конце.

3. Если в неполнофазном режиме находится линия с отпайкой, указанный режим может быть ликвидирован отключением специально выделенного выключателя, включенного последовательно с неполнофазно включенным выключателем. В качестве последовательно включенного выключателя может быть использован междушинный выключатель, после предварительного перевода всех остальных присоединений (кроме неполнофазно включенного) на другую систему шин.

После оперативного отключения линии, если трансформатор напряжения установлен на линии, целесообразно проконтролировать отсутствие напряжения на фазах отключенной линии. При наличии на какой-либо фазе напряжения, что свидетельствует о неполнофазном режиме выключателя с одной из сторон линии, необходимо принять меры для ликвидации неполнофазного режима.

Неполнофазный режим даже на линии, включенной с одной стороны, может представлять опасность для устройств РЗА, которые в этом случае находятся под воздействием напряжения нулевой последовательности. Это происходит при установке трансформатора напряжения на линии. В этом режиме необходимо принять соответствующие меры для ликвидации неполнофазного режима.

## 5. Дифференциальная защита шин (ДЗШ)

### Назначение защиты

Схемы электрических соединений электростанций и подстанций имеют большое разнообразие, определяемое номинальным напряжением, назначением и надежностью.

На шинах электростанций и подстанций могут возникать различные виды коротких замыканий (КЗ).

К основным причинам КЗ на шинах относятся:

– ошибочные действия дежурного персонала при операциях с шинными разъединителями;

– КЗ на вводах выключателей из-за дефекта изоляции;

– КЗ при грозовых повреждениях;

– КЗ при поломке изоляторов шинных разъединителей;

– КЗ, вызванные другими видами повреждений.

Короткое замыкание на шинах – один из самых тяжелых видов повреждений. Оно приводит к следующим серьезным последствиям:

– значительному снижению напряжения на шинах, что может привести к расстройству технологических процессов на большей части предприятий;

– потере динамической устойчивости системы;

– значительным повреждениям и выходу из строя оборудования.

Для предотвращения и ослабления последствий этих воздействий необходимо отключить КЗ на шинах распредустройства за минимальное время с помощью соответствующих устройств релейной защиты.

### Краткое описание защиты

Основная защита, применяемая в качестве защиты шин – дифференциальная токовая защита. Принцип ее действия – геометрическое суммирование токов в присоединениях защищаемых шин.

В условиях нормальной работы и при внешних КЗ в защите протекает ток небольшой величины (ток небаланса), значительно меньший тока срабатывания защиты. При КЗ в зоне действия ДЗШ в дифференциальных реле ДЗШ протекает сумма токов всех питающих КЗ присоединений, т. е. ток КЗ. В этом случае ДЗШ действует на отключение.

Ток срабатывания ДЗШ выбирается больше максимального тока небаланса.

Основными достоинствами дифференциальной защиты являются быстроедействие в сочетании с селективностью, простота реализации, действие при всех видах КЗ и недействие при качаниях и асинхронном режиме.

Одним из недостатков дифференциального принципа выполнения защит (в том числе и ДЗШ) является возможность ложного срабатывания при обрыве проводов токовых цепей. Для устранения этого недостатка ток срабатывания ДЗШ выбирают несколько большим, чем рабочий ток наиболее нагруженного присоединения.

ДЗШ является абсолютно селективной защитой. Зона ее действия ограничена местом установки трансформаторов тока присоединений. ДЗШ, как правило, действует на отключение только питающих присоединений. Тупиковые присоединения не отключаются от ДЗШ, т. к. они не подпитывают место КЗ, а при успешном АПВ шин сразу запитывается тупиковая нагрузка.

Для контроля исправности токовых цепей ДЗШ применяются устройства автоматического и ручного контроля. Автоматическое устройство контроля постоянно контролирует исправность токовых цепей ДЗШ и при появлении неисправности действует на автоматический вывод из действия ДЗШ и на сигнал. Автоматическое устройство контроля исправности токовых цепей ДЗШ действует только при обрыве токовых цепей присоединений с значительной нагрузкой. Для ручного контроля исправности токовых цепей ДЗШ применяется миллиамперметр, подключаемый для измерения тока небаланса при помощи кнопки, установленной в схеме ДЗШ.

Устройство ручного контроля исправности токовых цепей ДЗШ позволяет контролировать обрыв токовых цепей присоединений с небольшой нагрузкой.

Наиболее простая схема ДЗШ – дифференциальная защита одиночной системы шин. Она состоит из одного комплекта токовых реле, включенных на геометрическую сумму токов всех присоединений.

Более сложно выполнена схема ДЗШ для двойной системы шин. Токовые цепи всех присоединений каждой системы шин соединяются в шкафу ДЗШ на геометрическую сумму токов. Такое соединение токовых цепей присоединений одной системы шин называется дифференциалом. В токовые цепи дифференциалов включаются токовые реле, являющиеся избирательными органами для данной системы шин. На геометрическую сумму токов всех присоединений включаются токовые реле общего дифференциала.

При КЗ на шинах при нормальной фиксации присоединений действуют избирательные органы поврежденной системы шин и реле общего дифференциала. При этом отключаются избирательно только питающие присоединения поврежденной системы шин. При КЗ на шинах в режиме нарушенной фиксации избирательные органы ДЗШ выведены из действия. При этом происходит отключение питающих присоединений обеих систем шин.

Перед переводом какого-либо присоединения на другую систему шин ДЗШ вводится с нарушенной фиксацией, т. е. на панели ДЗШ необходимо включить ключ (рубильник) нарушения фиксации. После этого производится перевод присоединения на другую систему шин при помощи шинных разъединителей. Далее, токовые цепи переведенного присоединения и цепи отключения переводятся в тот дифференциал, куда подключено присоединение шинными разъединителями. После этого режим нарушенной фиксации можно вывести.

Если при переводе какого-либо присоединения на другую систему шин нет возможности перевести токовые цепи этого присоединения в другой дифференциал, ДЗШ остается в работе с нарушенной фиксацией.

При подготовке обходного выключателя (ОВ) к включению, его токовые цепи подключаются к токовым цепям дифференциала той системы шин, на которую предполагается включить ОВ. Распространяется действие ДЗШ на отключение ОВ – в соответствии с предполагаемой схемой включения.

Для замедления действия ДЗШ при опробовании рабочей или обходной системы шин включением, соответственно, междушинного выключателя (МШВ) или ОВ, в схеме ДЗШ вводится замедление действия ДЗШ. Данное замедление вводится в действие накладками: «Замедление действия ДЗШ при включении МШВ» или «Замедление действия ДЗШ при включении ОВ». При введенном замедлении действия ДЗШ и КЗ на рабочей (обходной) системе шин ДЗШ без выдержки времени действует только на отключение МШВ (ОВ), а действие ДЗШ на отключение остальных питающих КЗ присоединений замедляется на 0,35 с, если МШВ или ОВ не отключился. Замедление действия ДЗШ вводится в действие, если опробуемая система шин введена в зону действия ДЗШ.

Для предотвращения ложной работы ДЗШ от протекания постороннего тока, когда выключатель какого-либо присоединения вместе с трансформаторами заземлены с двух сторон (для ремонта) предварительно должны быть отключены от токовых цепей ДЗШ и зашунтированы токовые цепи этого присоединения.

Некоторые схемы ДЗШ имеют в своем составе реле запрета АПВ. Запрет АПВ происходит в следующих случаях.

1. При неуспешном АПВ шин.

При наличии в схеме ДЗШ реле запрета АПВ фактор контроля отсутствия напряжения на шинах вводится в действие на нескольких присоединениях каждой системы шин. При неуспешном АПВ шин от присоединения с меньшей выдержкой времени реле запрета АПВ закрывают АПВ всех остальных присоединений.

2. При неполнофазном отключении выключателя после действия ДЗШ.

После отключения КЗ на шинах действием ДЗШ выключатель какого-либо присоединения с пофазным приводом может отключиться неполнофазно с отключением поврежденной (поврежденных) фаз. При этом на одну или несколько неповрежденных фаз системы шин подается напряжение. Специальная схема контролирует наличие напряжения на одной или нескольких фазах системы шин после действия ДЗШ. Если после действия ДЗШ на одной или нескольких фазах шин осталось напряжение – запрещается АПВ всех присоединений.

3. При действии УРОВ.

При действии УРОВ по цепям ДЗШ происходит запрет АПВ всех присоединений.

4. При действии ДЗШ (в случае ввода в действие накладки «Запрет АПВ шин»).

Перед производством переключений с шинными разъединителями дежурный персонал должен вывести АПВ шин. При наличии в схеме ДЗШ реле запрета АПВ перед выполнением переключений шинными разъединителями дежурный персонал в схеме ДЗШ замыкает накладку «Запрет АПВ шин». Если при замкнутой указанной накладке произойдет КЗ на шинах и подействует ДЗШ, произойдет запрет АПВ всех присоединений.

После выполнения переключений шинными разъединителями указанная накладка размыкается.

В связи с тем, что некоторые КЗ являются неустойчивыми, выполняется АПВ шин после действия ДЗШ. АПВ шин выполняется выключателем присоединения, обеспечивающим достаточную чувствительность ДЗШ при включении на КЗ. При недостаточной чувствительности ДЗШ при АПВ шин на момент опробования шин автоматически вводится в действие чувствительный комплект ДЗШ. После успешного опробования шин чувствительный комплект ДЗШ выводится из действия автоматически.

При отсутствии в схеме ДЗШ реле запрета АПВ для осуществления АПВ шин в схеме АПВ одного присоединении каждой системы шин вводится фактор контроля отсутствия напряжения на шинах. При отключении этого присоединения контроль отсутствия напряжения вводится в схему АПВ другого присоединения.

### **Оперативное обслуживание ДЗШ дежурным персоналом**

Дежурный персонал один раз в смену при помощи устройства ручного контроля проверяет исправность токовых цепей ДЗШ. Устройство ручного контроля, как правило, имеет большую чувствительность, по сравнению с устройством автоматического контроля.

ДЗШ выводится из действия в следующих случаях:

– при появлении сигнала неисправности токовых цепей или повышении сверх нормального тока небаланса, выявленного при ручном контроле;

– в случае подключения нового присоединения, токовые цепи которого не подключены к токовым цепям ДЗШ или не сфазированы. При этом все переключения ведутся с введенной в действие ДЗШ, а перед включением данного присоединения ДЗШ выводится из действия на время фазировки;

– в случае опробования выключателя или системы шин от выделенного присоединения, если трансформаторы тока этого присоединения не отключены от токовых цепей ДЗШ;

– в случае ложного действия ДЗШ;

– при проверках ДЗШ.



## **6. Неполная дифференциальная защита шин (НДЗШ)**

### **Назначение защиты**

НДЗШ используется в качестве основной защиты сборных шин генераторов электрических станций и шин крупных подстанций напряжением 6–10 кВ, от которых питаются реактированные отходящие линии. НДЗШ обеспечивает быстрое и селективное отключение поврежденной системы шин при междуфазных КЗ, что необходимо для обеспечения устойчивости работы электростанций, уменьшения объема повреждений, повышения надежности электроснабжения потребителей.

### **Краткое описание защиты**

Токовые реле НДЗШ включены на геометрическую сумму токов только питающих присоединений (генераторов, повышающих трансформаторов, МШВ, СВ) присоединенных к данной системе шин. Это упрощает схему НДЗШ по сравнению со схемой полной дифференциальной защиты шин.

Обычно НДЗШ имеет две ступени, выполненные при помощи двух комплектов токовых реле.

1-я ступень (грубая) представляет собой отсечку, действующую без выдержки времени. Ток срабатывания 1-й ступени отстроен от максимального тока КЗ за реакторами отходящих параллельных линий. 1-я ступень действует при КЗ на защищаемых шинах и на первых витках реакторов отходящих линий. Для повышения чувствительности 1-ю ступень НДЗШ иногда выполняют с пуском по напряжению.

2-я ступень (чувствительная) отстроена от суммарного тока самозапуска всех потребителей, питающихся от данной системы шин и действует с выдержкой времени большей, чем наибольшая выдержка времени максимальной токовой защиты (МТЗ) отходящих присоединений. 2-я ступень действует при КЗ на защищаемых шинах, а также при КЗ в реакторах и на отходящих присоединениях. 2-я ступень НДЗШ является резервной для 1-й ступени НДЗШ и для защит отходящих линий.

1-я и 2-я ступени НДЗШ действуют на отключение всех питающих присоединений (генераторы, трансформаторы, секционные и междушинные выключатели). Для ускорения действия устройств автоматического ввода резерва (АВР) питания собственных нужд (СН) электростанций НДЗШ действует на отключение трансформаторов СН, подключенных к защищаемым шинам.

В схемах без выключателя между групповым реактором и шинами применяется токовая отсечка и МТЗ с выдержкой времени называемая поэлементной защитой. Поэлементная защита действует по цепям НДЗШ.

Испытательные блоки НДЗШ устанавливаются только в токовых цепях МШВ. Данные испытательные блоки используются для следующих целей.

1. Для ввода в зону действия НДЗШ рабочей системы шин в нормальном режиме.

2. Для ввода в зону действия НДЗШ трансферной системы шин (при ремонте рабочей системы шин).

3. Для отключения трансформаторов тока МШВ от токовых цепей НДЗШ во время перевода присоединений. При этом в зону действия НДЗШ включается рабочая и трансферная система шин.

Для защиты рабочей или трансферной систем шин, которые не входят в зону действия НДЗШ на МШВ вводится токовая отсечка и МТЗ. Токовая отсечка отстроена от КЗ за реакторами отходящих линий.

НДЗШ имеет замедление действия при включении МШВ ключом управления. При этом, в случае включения МШВ на КЗ на шинах, НДЗШ действует без выдержки времени только на отключение МШВ. Действие НДЗШ на отключение остальных питающих присоединений замедляется автоматически на 0,3 с.

### **Оперативное обслуживание ДЗШ дежурным персоналом**

Для исключения неселективной работы НДЗШ дежурный персонал должен контролировать:

– положение испытательных блоков в токовых цепях и накладок в оперативных цепях защиты в соответствии со схемой работы распределительного устройства;

– обеспечивать питание реле напряжения 1-й ступени НДЗШ от трансформатора напряжения защищаемой системы шин (если 1-я ступень НДЗШ имеет пуск по напряжению).

При появлении сигнала «Неисправность НДЗШ» дежурный персонал должен:

– определить в каких цепях (оперативных или в цепях напряжения, если 1-я ступень НДЗШ имеет пуск по напряжению) возникла неисправность. Неисправность цепей напряжения НДЗШ может быть определена, если помимо появления сигнала «Неисправность НДЗШ» появились другие сигналы, свидетельствующие о неисправности цепей напряжения. Если возникла неисправность в оперативных цепях, дежурный персонал должен проверить включенное положение автомата оперативных цепей или предохранителей, питающих схемы НДЗШ.

Если неисправность цепей напряжения или оперативных цепей устранить не удалось, НДЗШ необходимо вывести из действия. Если при появлении сигнала неисправности было установлено, что появление сигнала «Неисправность НДЗШ» была вызвана неисправностью цепей напряжения, то достаточно вывести из действия 1-ю ступень НДЗШ (если в схеме НДЗШ имеется отдельная накладка для вывода из действия 1-й ступени НДЗШ). Если указанной наклейки нет, НДЗШ выводится из действия общей накладкой, выводящей из действия 1-ю и 2-ю ступени НДЗШ.

НДЗШ выводится из действия в следующих случаях:

- при неисправности защиты;
- при ложном действии;
- при высоковольтных испытаниях оборудования ячеек, в которых установлены трансформаторы тока, используемые в схеме НДЗШ;
- при испытании генератора на холостом ходу, если трансформаторы тока этого генератора подключены к токовым цепям НДЗШ;
- при проверках НДЗШ.

Перед опробованием напряжением системы шин через МШВ необходимо ввести в действие собственные защиты МШВ и ввести опробуемую систему шин в зону действия НДЗШ той секции, от которой будет опробоваться система шин. Для этого необходимо отключить испытательным блоком токовые цепи МШВ от токовых цепей НДЗШ и включить МШВ ключом управления.

## **7. Устройство резервирования при отказе выключателей (УРОВ)**

### **Назначение устройства**

В процессе эксплуатации электрооборудования могут иметь место случаи отказа в отключении выключателей при действии устройств релейной защиты. При этом при отсутствии УРОВ ликвидация КЗ на поврежденном присоединении происходит действием резервных защит на смежных элементах с большими выдержками времени с последующим АПВ. Как следствие, происходит отключение большого числа присоединений с возможностью нарушения динамической устойчивости данного узла энергосистемы. При наличии УРОВ, в случае отказа выключателя при КЗ на присоединении, ликвидация этого КЗ происходит отключением минимального числа выключателей на шинах, где расположен отказавший выключатель со временем порядка 0,3 секунды и с запретом АПВ отключенных действием УРОВ присоединений. В этом случае нарушения динамической устойчивости не происходит. УРОВ является одними из устройств ближнего резервирования.

### **Краткое описание устройства**

Несколько лет назад схемы УРОВ применялись в основном на присоединениях классов напряжения 110 кВ и выше. Однако, в последние годы, в основном в связи с вводом в эксплуатацию микропроцессорных устройств РЗА схемы УРОВ применяются и на присоединениях классов напряжения 6–10–35 кВ.

Схемы УРОВ действуют по следующему принципу. При возникновении повреждения и срабатывании устройств релейной защиты один из контактов выходного реле защиты дает команду на отключение выключателя присоединения, на котором произошло КЗ. Другой контакт этого реле действует на пуск схемы УРОВ. В схеме УРОВ имеется контроль тока присоединений и выдержка времени.

Если выключатель присоединения, на котором произошло КЗ исправен, то при отключении выключателя реле контроля тока фиксирует исчезновение тока и реле выдержки времени не действует. Схема УРОВ при этом не срабатывает.

Если выключатель присоединения, на котором произошло КЗ не отключился при действии устройств релейной защиты, реле контроля тока фиксируют наличие тока КЗ, протекающего через отказавший выключатель и реле выдержки времени УРОВ начинает отсчитывать выдержку времени (0,25–0,35 секунд). Если по истечению этого времени выключатель не отключился (т. е. ток через него не прекратился), срабатывает схема УРОВ.

Выходные реле УРОВ действуют на отключение всех выключателей смежных с отказавшим. В зависимости от конкретной схемы распредустройства УРОВ иногда может действовать по цепям ДЗШ. При действии УРОВ происходит, как правило, запрет АПВ присоединений, отключенных действием УРОВ.

При возникновении КЗ на линии и отказе ее выключателя при наличии на линии основной быстродействующей защиты, использующей в своем составе ВЧ посты УРОВ действует на останов передатчиков ВЧ постов этой защиты для ускорения отключения линии с противоположной стороны. При использовании на линии в качестве основной защиты ДЗЛ УРОВ действует на подрыв соединительных проводов ДЗЛ также для ускорения отключения линии с противоположной стороны. Если на линии установлена аппаратура передачи команд телеотключения (аппаратура типов ВЧТО, АНКА–АВПА, АКПА и др.) одна из команд (чаще всего – 1-я команда) используется для передачи команды действия УРОВ на противоположный конец линии. На противоположном конце линии эта команда действует на отключение выключателя с запретом АПВ.

При отказе выключателя трансформатора (автотрансформатора) УРОВ действует на выходные реле основных защит трансформатора (автотрансформатора) на отключение всех его выключателей с запретом АПВ.

При КЗ на шинах, действии ДЗШ и отказе выключателя линии схема УРОВ действует на останов ВЧ передатчика основной защиты линии (или на подрыв проводов защиты ДЗЛ) для ускорения отключения линии с противоположной стороны. При КЗ на шинах, действии ДЗШ и отказе выключателя трансформатора (автотрансформатора) схема УРОВ действует на отключение всех выключателей трансформатора (автотрансформатора) с запретом АПВ.

При КЗ на одной из систем шин, действии ДЗШ и отказе междушинного выключателя (МШВ) схема УРОВ действует на отключение выключателей другой системы шин по цепям ДЗШ с запретом АПВ.

Схемы УРОВ могут быть выполнены общеподстанционными – т. е. одна схема УРОВ для всего распредустройства данного класса напряжения. В некоторых случаях схемы УРОВ выполняются отдельно для каждого выключателя. Такие схемы УРОВ называются индивидуальными схемами УРОВ. Индивидуальные схемы УРОВ ранее применялись для наиболее ответственных выключателей, как правило, классов напряжения 220 кВ и выше. В последние годы, в связи с вводом в эксплуатацию микропроцессорных устройств, схемы индивидуального УРОВ применяется все чаще даже на присоединениях классов напряжения 6–10–35 кВ.

Некоторые схемы УРОВ имеют цепи опережающего действия. Если при КЗ на присоединении и действии соответствующего устройства релейной защиты оказался неисправным контакт выходного реле защиты, дающий команду на отключение выключателя, для исключения ложного действия схемы УРОВ цепь отключения выключателя дублируется контактом выходного реле защиты, запускающим схему УРОВ. Это дублирование называется опережающее действие УРОВ.

### **Оперативное обслуживание УРОВ дежурным персоналом**

При выводе из действия какой-либо защиты предварительно выводится пуск схемы УРОВ от этой защиты.

Схема УРОВ выводится из действия в следующих случаях:

- при неисправности схемы УРОВ;
- перед проверкой схемы УРОВ и работах в его цепях;
- при неисправности цепей напряжения (для схем УРОВ с дополнительным контролем по напряжению).

В случае если выходные реле схемы УРОВ действуют по цепям ДЗШ, перед выполнением проверки ДЗШ, УРОВ должен быть выведен из действия. Если ДЗШ выведена накладкой из-за неисправности, УРОВ остается в действии.

## 8. Защиты трансформаторов и автотрансформаторов

### Назначение устройств защиты

Трансформаторы и автотрансформаторы (далее – трансформаторы) должны иметь устройства релейной защиты от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы:

- многофазных коротких замыканий (КЗ) в обмотках и на выводах;
- однофазных КЗ в обмотках и на выводах (для сетей с глухозаземленной нейтралью).
- витковых замыканий в обмотках;
- токов в обмотках, обусловленных внешними КЗ;
- частичного пробоя изоляции вводов трансформаторов напряжением 500 кВ и выше;
- токов в обмотках, обусловленных протеканием через них токов перегрузки;
- устройства технологических защит и автоматики.

Для шунтирующих реакторов напряжением 500 кВ и выше предусматриваются устройства релейной защиты от следующих видов повреждений:

- различных видов КЗ на землю и на выводах;
- витковых КЗ в обмотках;
- частичного пробоя изоляции вводов;
- устройств технологических защит и автоматики.

Устройства защит шунтирующих реакторов аналогичны соответствующим устройствам защит трансформаторов.

### Краткое описание устройств защиты

Для защит трансформаторов и АТ применяются основные и резервные защиты.

К основным защитам трансформаторов относятся дифференциальная защита и газовая защита. Эти защиты действуют без выдержки времени.

#### 8.1. Дифференциальная защита

Для трансформаторов мощностью 6,3 МВА и более, а также для АТ в качестве основной защиты от междуфазных КЗ и однофазных КЗ (для сетей с глухозаземленной нейтралью), возникающих внутри корпуса и на выводах, предусматривается дифференциальная токовая защита. Токовые реле дифференциальной токовой защиты включаются на геометрическую сумму токов трансформаторов тока всех сторон

трансформатора. В связи с тем, что обмотки трансформатора имеют разные схемы соединения («звезда» или «треугольник»), первичные токи разных обмоток трансформатора могут быть сдвинуты между собой на определенный угол. Для компенсации этого углового сдвига схема токовых цепей выполняется определенным образом, компенсируя ток небаланса, вызванный угловым сдвигом токов в первичных обмотках. Дифференциальная защита по току срабатывания отстроена от токов небаланса, возникающих из-за погрешности трансформаторов тока, устройств регулирования напряжения трансформатора и броска тока намагничивания при включении трансформатора под напряжение.

В связи с тем, что бросок тока намагничивания может иметь большую величину, для исключения ложного действия дифференциальной защиты при включении трансформатора под напряжение и повышения ее чувствительности применяются специальные реле, не реагирующие на броски тока намагничивания. Зона действия дифференциальной защиты ограничена местом установки трансформаторов тока. При отключении цепей одного из трансформаторов тока, используемых в схеме дифференциальной защиты, защита становится неселективной и может излишне сработать при внешнем КЗ.

Важнейшими преимуществами дифференциальной защиты трансформаторов являются:

- действие без выдержки времени;
- действие при всех видах КЗ в зоне работы;
- недействие при качаниях и асинхронном режиме;
- простота выполнения;
- высокая чувствительность.

К относительным недостаткам дифференциальной защиты можно отнести недействие ее при витковых замыканиях небольшого числа витков обмотки трансформатора.

Дифференциальная защита трансформатора действует на отключение всех его выключателей с запретом АПВ. При наличии на трубопроводе, соединяющем основной бак трансформатора с расширителем, отсечного клапана дифференциальная защита действует на его закрытие. Тем самым ликвидируется возможность подпитки маслом из расширителя пожара в трансформаторе.

При наличии на трансформаторах системы пожаротушения пуск указанной системы чаще всего выполняется от основных защит трансформатора – в том числе и от дифференциальной защиты.



## 8.2. Газовая защита

Газовая защита является весьма чувствительной защитой, реагирующей на повреждения внутри бака трансформатора, связанные с выделением газа или ускоренного перетекания трансформаторного масла или газомасляной смеси из основного бака трансформатора в расширитель. При слабом газообразовании срабатывает сигнальный элемент газового реле, а при более мощном – отключающий элемент. Газовое реле основного бака трансформатора устанавливается на трубопроводе между основным баком трансформатора и расширителем.

Для защиты от повреждений контактов устройства РПН применяются струйные реле. Эти реле устанавливаются на трубопроводе между баком РПН и расширителем. При нарушении нормальной работы контактора РПН, связанной с повреждением изоляции, ослаблением пружин механизма, дуга, возникающая в месте повреждения, сопровождается бурным разложением масла и при этом струя масла и газа направляется через струйное реле в расширитель. При достаточно интенсивном газообразовании струйное реле срабатывает. В связи с небольшим объемом масла в баке РПН при повреждении внутри бака РПН требуется немедленное отключение трансформатора. Поэтому струйное реле не имеет сигнального контакта, а у газовых реле, используемых в качестве струйных, сигнальный контакт не используется.

Газовая защита основного бака трансформатора и РПН действуют на отключение всех его выключателей с запретом АПВ. При наличии на трубопроводе, соединяющем основной бак трансформатора с расширителем отсечного клапана, газовая защита основного бака трансформатора и РПН действуют на его закрытие. Тем самым ликвидируется возможность подпитки маслом из расширителя пожара в трансформаторе.

При наличии на трансформаторах системы пожаротушения пуск указанной системы чаще всего выполняется от основных защит трансформатора – в том числе и от газовой защиты основного бака трансформатора и РПН.

Для контроля изоляции цепей газовой защиты на некоторых трансформаторах применяются специальные устройства контроля – УКИГЗ. Эти устройства постоянно контролируют изоляцию цепей газовой защиты. При снижении сопротивления изоляции ниже допустимой УКИГЗ действует на сигнал.

### 8.3. Резервные защиты

На трансформаторах помимо основных защит устанавливают резервные защиты.

При КЗ в сети, примыкающей к одной из обмоток трансформатора, может произойти отказ устройств релейной защиты, которые должны отключить это КЗ. Для исключения длительного протекания токов КЗ через обмотки трансформатора со всех сторон трансформатора устанавливаются устройства релейной защиты. Эти устройства при указанном выше повреждении с выдержками времени большими, чем выдержки времени резервных защит присоединения, на котором произошло КЗ, отключают выключатель (выключатели) трансформатора.

При КЗ внутри основного бака трансформатора или на его выводах и отказе основных защит трансформатора, трансформатор будет отключен действием резервных защит с выдержкой времени.

Таким образом, резервные защиты трансформаторов выполняют следующие функции:

- резервирование КЗ в сети, примыкающей к данной обмотке трансформатора;
- резервирование основных защит трансформатора.

В качестве резервных защит трансформаторов применяются следующие устройства релейной защиты.

1. Для защит от междуфазных КЗ (одна или несколько из указанных далее защит):

- максимальная токовая защита (МТЗ);
- максимальная токовая защита с пуском по напряжению (МТЗ с пуском по  $U$ );
- защита по току обратной последовательности (направленная и ненаправленная ступени);
- дистанционная защита.

2. Для защит от КЗ на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью применяются токовые направленные защиты от замыканий на землю (ТЗНП).

Резервные защиты трансформатора каждой стороны трансформатора действуют с меньшей выдержкой времени на отключение выключателя ввода трансформатора «своей» стороны, а с большей выдержкой времени – на отключение всех выключателей трансформатора. Иногда резервные защиты трансформатора перед отключением выключателя ввода трансформатора «своей» стороны действуют на

отключение МШВ (СВ) для отделения системы шин, на которое включено присоединение с КЗ от другой системы шин. Такая схема деления позволяет сохранить в работе часть подстанции не связанную с повреждением. Чаще всего резервные защиты действуют без запрета АПВ.

#### **8.4. Устройство контроля изоляции вводов трансформаторов (КИВ)**

На трансформаторах для контроля изоляции вводов 500 кВ и выше применяются устройства типа КИВ–500Р или КИВ–1150. Эти устройства предназначены для контроля тока утечки через конденсаторную изоляцию вводов и действуют при ухудшении качества изоляции или при частичном пробое изоляции.

Принцип действия устройства КИВ – измерение геометрической суммы трехфазной системы токов утечки, протекающих через изоляцию вводов. При исправной изоляции геометрическая сумма токов на входе устройства КИВ близка к нулю. В случае частичного повреждения изоляции ввода одной из фаз появляется ток небаланса, который фиксируется защитой. Устройства типа КИВ имеют измерительный элемент для оперативного контроля состояния изоляции, а также сигнальный и отключающий элементы.

Отключающий элемент при значительном повреждении изоляции действует на отключение всех выключателей трансформатора с запретом АПВ.

#### **8.5. Токовая защита от перегрузки**

Для защиты трансформаторов от токов перегрузки устанавливается токовая защита, действующая, как правило, на сигнал в случае перегрузки по току любой обмотки трансформатора. Защита от перегрузки действует с выдержкой времени большей, чем максимальные выдержки времени резервных защит трансформатора для исключения появления излишнего сигнала при КЗ в сети.

#### **Оперативное обслуживание защит дежурным персоналом**

#### **8.6. Дифференциальная защита**

Токовые цепи всех сторон трансформатора должны быть подключены в схему дифференциальной защиты. Обрыв токовых цепей может привести к излишнему действию дифференциальной защиты при внешних КЗ. Дифференциальная защита трансформатора, как правило, не имеет контроля исправности токовых цепей.

Если ток срабатывания дифференциальной защиты больше номинального тока трансформатора, операции по переключению токовых цепей дифференциальной защиты могут производиться без вывода ее из действия. Операции по переключению токовых цепей должны производиться по возможности быстро.

Если ток срабатывания дифференциальной защиты меньше номинального тока трансформатора, то все переключения в токовых цепях дифференциальной защиты трансформатора должны производиться только с предварительным выводом дифференциальной защиты из действия.

### **8.7. Газовая защита**

Отключающий элемент газовой защиты переводится на сигнал в следующих случаях:

- при выводе в ремонт трансформатора, выключатель (выключатели) которого остаются в работе;
- при работах в масляной системе трансформатора, когда возможны толчки масла или попадание воздуха в масло;
- при доливке масла;
- при проверках газовой защиты;
- при неисправностях газовой защиты;
- при срабатывании устройства контроля изоляции цепей газовой защиты (УКИГЗ).

Открытие отсечного клапана следует производить до включения трансформатора в работу во избежание ложного действия газовой защиты на отключение из-за потока масла через газовое реле.

При срабатывании газовой защиты на сигнал необходимо:

- сообщить об этом событии вышестоящему дежурному персоналу;
- произвести немедленный осмотр трансформатора и, если обнаружатся явные признаки повреждения (потрескивания, необычный гул и др.), то трансформатор должен быть немедленно отключен.

Следует отобрать газ из газового реле для анализа. Для обеспечения безопасности дежурного персонала отбор газа из газового реле производится на отключенном трансформаторе.

### **8.8. Резервные защиты**

При операциях в токовых цепях защиты по току обратной последовательности и чувствительных ступеней ТЗНП (не отстроенных от тока нагрузки) принята на время операций в токовых цепях вывести их из действия (для избежания их ложного действия при возможных неполнофазных режимах в токовых цепях, которые могут возникнуть в процессе переключений).

При неисправности цепей напряжения дистанционная защита может быть переведена на другой трансформатор напряжения (ТН). При отсутствии возможности перевода дистанционной защиты на другой ТН в случае повреждения ее цепей напряжения дистанционная защита должна быть выведена из действия.

### **8.9. Контроль изоляции вводов (КИВ)**

Дежурный персонал один раз в сутки контролирует величину тока небаланса устройства КИВ по миллиамперметру.

При срабатывании устройства КИВ на сигнал дежурный персонал должен измерить величину тока небаланса и в течение 3–5 минут контролировать этот ток. Если ток небаланса за это время увеличится на 1 деление или больше, трансформатор должен быть срочно отключен. Если в течение 3–5 минут не обнаруживается дальнейшего увеличения тока небаланса или увеличение тока небаланса не превышает 0,5 деления, необходимо далее через каждые 15 минут производить измерения тока небаланса до выяснения причины увеличения тока небаланса или до отключения трансформатора.

Ток небаланса может увеличиться по причинам, не связанным с повреждением изоляции ввода:

- несимметрия напряжений на защищаемых вводах;
- неисправности во вторичных токовых цепях КИВ;
- загрязнения поверхности вводов;
- неисправность разрядников во вторичных цепях КИВ.

Если величина тока небаланса, замеренная по миллиамперметру, окажется больше допустимого значения, трансформатор должен быть срочно отключен. Величина тока небаланса, при котором необходимо отключать трансформатор, определяется при наладке и указывается в инструкции по эксплуатации КИВ.

## **9. Защиты генераторов**

### **Назначение защит генераторов**

В данном разделе приведен обзор устройств релейной защиты генераторов. В зависимости от типа, мощности генератора набор защит и направление их действия могут быть различными.

При эксплуатации генераторов возникают различные виды повреждений и ненормальных режимов, приводящих к нарушению работы генераторов.

В статоре генератора могут возникать следующие виды повреждений:

- междуфазные короткие замыкания (КЗ);
- замыкания обмотки статора на землю;
- витковые замыкания.

Повреждения в обмотке статора генератора сопровождаются электрической дугой, вызывающей повреждение обмоток и активной стали генератора.

В роторе генератора могут возникать следующие виды повреждений:

- замыкания обмотки ротора на землю в одной точке;
- двойное замыкание обмотки ротора на землю;
- защита ротора от перегрузки током.

Защиты генератора, действующие при повреждениях, представляющих непосредственную опасность, действуют без выдержки времени на отключение выключателя, гашение магнитного поля, на остановку турбин и в некоторых случаях – на пуск системы пожаротушения.

Основными ненормальными режимами опасными для генераторов являются:

- сверхтоки, протекающие через обмотки статора генератора при внешних КЗ;
- потеря возбуждения;
- повышение напряжения выше допустимых пределов.

### **Краткое описание защит генератора**

#### **9.1. Дифференциальная защита**

В качестве основной защиты от междуфазных КЗ в обмотках статора генератора устанавливается продольная дифференциальная защита. Защита реагирует на междуфазные КЗ в статоре генератора и на выводах. При условии достаточной чувствительности защита может

реагировать также на двойные замыкания на землю, когда одна точка замыкания на землю находится в зоне действия дифференциальной защиты генератора.

Зона действия дифференциальной защиты генератора – обмотки статора и ошиновка генератора, расположенные между трансформаторами тока дифференциальной защиты.

В нагрузочном режиме и при внешних КЗ в дифференциальной защите генератора со стороны фазных выводов и со стороны нулевых выводов генератора протекают равные токи, и дифференциальная защита генератора не действует. При междуфазных КЗ в генераторе в цепях трансформаторов тока поврежденных фаз со стороны нулевых выводов генератора токи возрастают, а со стороны фазных выводов меняют свое направление (токи со стороны фазных выводов могут отсутствовать, если генератор отключен от сети). В результате, в реле поврежденных фаз дифференциальной защиты генератора протекают суммарные токи КЗ, что приводит к срабатыванию защиты. На витковые замыкания между витками одной фазы защита не реагирует, т. к. токи повреждения через трансформаторы тока дифференциальной защиты не протекают.

## **9.2. Поперечная дифференциальная защита генератора**

Поперечная дифференциальная защита генератора предназначена для защиты генератора от витковых замыканий в обмотке статора каждой из фаз. Принцип действия защиты – сравнение геометрической суммы токов всех фаз каждой из ветвей статора генератора. В нормальном режиме и при внешнем КЗ сумма токов всех фаз каждой из ветвей равна нулю и защита не действует. При витковом замыкании одной из ветвей сопротивление этой ветви уменьшается. При этом геометрическая сумма токов в ветвях обмоток статора становится не равной нулю, что приводит к протеканию тока через токовое реле поперечной дифференциальной защиты. Величина этого тока зависит от количества замкнувшихся витков, т. е. защита приходит в действие только при количестве замкнувшихся витков большим определенной величины. Поперечная дифференциальная защита может отказать при небольшом количестве замкнувшихся витков, а также при замыкании между витками разных ветвей одной фазы при одинаковом числе замкнутых витков.

## **9.3. Защита от замыканий на землю обмотки статора генератора**

При замыкании на землю обмотки статора генератора возникает несимметрия напряжений фаз генератора, что приводит к появлению напряжения нулевой последовательности ( $3U_0$ ). Величина этого напряжения зависит от места возникновения замыкания на землю. Чем ближе место замыкания к фазным выводам генератора, тем выше напряжение  $3U_0$ .

Наиболее широко в качестве защиты от замыканий на землю применяется защита, реагирующая на увеличение напряжения нулевой последовательности более определенной величины. Защита не действует при замыканиях на землю в сети высокого напряжения.

Недостаток этой защиты – наличие зоны нечувствительности – т. е. при замыкании на землю вблизи нулевых выводов обмотки статора защита может не действовать.

В качестве защиты от замыканий на землю, осуществляющей защиту всей обмотки статора генератора (100 % защита), используется защита, выполненная с применением реле типа ЗЗГ–1 или аналогичного реле. Принцип действия этой защиты – сравнение напряжения 3-й гармоники на фазных и нулевых выводах генератора для осуществления защиты от замыканий на землю вблизи нулевых выводов генератора, а также контроль уровня напряжения  $3U_0$  для защиты от замыканий на землю в остальной части обмоток.

#### **9.4. Защита генератора от сверхтоков при внешних КЗ и перегрузках**

Протекание сверхтоков внешнего КЗ через обмотки генератора может привести к серьезным повреждениям. Эти защиты являются резервными для дифференциальной защиты генератора, а также для защит внешней сети. В качестве резервных защит генератора могут применяться:

- максимальная токовая защита с блокировкой по напряжению;
- защита по току обратной последовательности;
- дистанционная защита.

Указанные защиты действуют с выдержкой времени, согласованной с выдержками времени резервных защит внешней сети.

##### **9.4.1. Максимальная токовая защита (МТЗ) с блокировкой по напряжению**



Защита предназначена для действия при симметричных КЗ и является резервной для дифференциальной защиты генератора и сети высшего напряжения при отказах соответствующих защит. Для исключения действия защиты при симметричных перегрузках защита выполняется с блокировкой по напряжению.

МТЗ с блокировкой по напряжению имеет ряд недостатков: сравнительно низкая чувствительность, усложнение согласования с защитами сети высшего напряжения, возможность действия в асинхронном режиме. Для устранения указанных недостатков в качестве резервной защиты от симметричных КЗ в некоторых случаях используется защита, выполненная на дистанционном принципе.

Защита от симметричных КЗ действует с выдержкой времени.

#### **9.4.2. Токовая защита обратной последовательности**

Защита действует при несимметричных КЗ в пределах генератора (блока) и при повреждении на стороне высшего напряжения при отказе соответствующих защит и выключателей. Причиной появления опасных токов обратной последовательности являются неотключенные основными защитами несимметричные КЗ, обрыв силовой шины с созданием режима несимметричной нагрузки, неполнофазная работа выключателей. Время действия защиты определяется тепловой характеристикой генератора.

Защита, как правило, выполняется по ступенчатому принципу или с интегральной характеристикой.

#### **9.4.3. Дистанционная защита**

Дистанционная защита генератора (блока) выполнена по ступенчатому принципу аналогично дистанционным защитами линий. Дистанционная защита является резервной для дифференциальной защиты генератора и сети высшего напряжения при отказе соответствующих защит. Характеристики дистанционной защиты позволяют обеспечить ее высокую чувствительность и обеспечить отстройку от асинхронного режима.

#### **9.4.4. Защита от перегрузки обмотки статора**

Защита выполняется на принципе измерения тока в обмотке статора. При превышении тока в обмотке статора более допустимого защита действует на сигнал с выдержкой времени, большей, чем время действия резервных защит генератора.

#### **9.4.5. Защита обмотки ротора от замыканий на землю**

Замыкание в одной точке ротора генератора не является опасным режимом, т. к. ток в месте замыкания практически равен нулю и нормальная работа генератора не нарушается. Однако при этом повышается вероятность появления второго замыкания обмотки ротора на землю, что приводит к повышению тока в обмотке ротора и ее перегреву. Кроме этого, появление второго замыкания на землю в обмотке ротора приводит к нарушению симметрии магнитного потока и к сильной вибрации. Особенно сильная вибрация появляется в этом режиме у явнополюсных генераторов и синхронных компенсаторов.

Защита от замыканий на землю в одной точке, как правило, выполняется на принципе контроля тока от дополнительного источника, подключенного между одним из полюсов обмотки ротора и землей. В нормальном режиме (при отсутствии замыкания на землю в цепи обмотки ротора) ток от дополнительного источника равен нулю. При замыкании на землю в одной точке обмотки ротора, через место замыкания протекает ток от дополнительного источника, что фиксируется специальным реле.

Защита от замыканий на землю в двух точках выполнена на принципе контроля состояния баланса электрического моста, состоящего из сопротивлений частей обмотки ротора и резисторов схемы измерений. При появлении замыканий на землю обмотки ротора в одной точке, защита от замыканий на землю в двух точках вводится в действие и срабатывает при появлении второго замыкания на землю.

#### **9.4.6. Защита ротора от перегрузки током**

Перегрузка ротора током возбуждения возникает при нарушениях в работе регулятора возбуждения или устройства форсировки возбуждения. Длительное протекание увеличенных токов возбуждения может привести к перегреву обмотки ротора и повреждению ее изоляции.

Наиболее совершенной защитой обмотки ротора от перегрузки током является защита с интегральной характеристикой типа РЗР-1. Защита состоит из сигнального органа и органа, действующего на раз-

возбуждение и отключение генератора. Выдержка времени действия защиты зависит от величины тока ротора. В некоторых случаях применяются защиты с независимой характеристикой времени, т. е. при повышении тока ротора вышеопределенной величины защита действует с выдержкой времени на развозбуждение и отключение генератора.

#### **9.4.7. Защита от асинхронного режима**

Асинхронный режим генератора возникает в режиме работы генератора без возбуждения. Этот режим характеризуется тем, что генератор начинает потреблять из сети реактивную мощность, что приводит к перегреву лобовых частей обмотки статора генератора. Для исключения указанного режима на некоторых генераторах устанавливается защита от асинхронного режима. Защита выполняется на реле сопротивления и реагирует на изменение направления реактивной мощности. Защита может действовать на автоматическое снижение активной мощности генератора или на сигнал дежурному персоналу для снижения активной мощности.

#### **9.4.8. Защита от повышения напряжения**

Защита предназначена для недопущения повышения напряжения более на выводах статора генератора, работающего на холостом ходу. Повышение напряжения может произойти из-за неисправности системы возбуждения. Защита вводится в действие после включения генератора под нагрузку. Ввод и вывод защиты осуществляется автоматически. Защита действует на гашение поля генератора.

#### **Оперативное обслуживание защит дежурным персоналом**

Перед операцией в токовых цепях дифференциальной защиты генератора и защиты по току обратной последовательности указанные защиты необходимо вывести из действия для исключения их ложной работы при этих операциях.

Перед производством операций в цепях напряжения защиты от замыканий на землю обмотки статора генератора, выполненной на реле типов ЗЗГ-1 или БРЭ-1301 указанные реле могут ложно сработать.

## **10. Феррорезонанс**

### **Краткое описание явления феррорезонанса**

На подстанциях 220 кВ и выше при действии устройств релейной защиты и автоматики, а также при выполнении оперативных переключений, могут образовываться последовательные и последовательно-параллельные схемы соединения нелинейной индуктивности электромагнитных трансформаторов напряжения (ТН) серии НКФ с емкостью шин и конденсаторов, шунтирующих контакты воздушных выключателей типов ВВ, ВВН, ВНВ, ВВД, ВВБ, а также маломасляных выключателей типа ВМТ–220. В зависимости от величин индуктивного сопротивления ТН, емкости шин и емкости конденсаторов, шунтирующих контакты указанных выше типов выключателей, в образованных ими контурах могут возникать опасные для оборудования феррорезонансные явления, которые приводят к повышению напряжения на первичной обмотке ТН и протеканию через нее недопустимо больших величин токов. Данные явления могут привести к повреждению изоляции обмоток ТН, их перегреву и даже к разрушению ТН с последующим пожаром.

Феррорезонансные явления могут возникать при действии дифференциальной защиты шин (ДЗШ), УРОВ, при выводе в ремонт систем шин, а также присоединений в полуторных схемах и в схемах многоугольников, имеющих ТН на ошиновке. Распределительные устройства, в которых могут иметь место явления феррорезонанса, определяются расчетом в зависимости от состава и конкретных параметров электрооборудования распреустройства.

Ликвидация явления феррорезонанса, которое может возникнуть при действии устройств релейной защиты и автоматики обычно выполняется способами, направленными на расстройку резонансного контура.

1. Устройства РЗА (чаще всего – ДЗШ и УРОВ) действуют на отключение всех выключателей одного, заранее выбранного трансформатора с заземленной нейтралью (автотрансформатора – АТ), кроме того выключателя, который подключен к системе шин, на которой возможно возникновение явления феррорезонанса. При этом на обесточенные шины параллельно первичной обмотке ТН подключается большое индуктивное сопротивление обмотки трансформатора (АТ). Параметры возникшего контура, в который помимо емкостей шин и конденсаторов, шунтирующих контакты выключателей, индуктивности ТН входит еще и индуктивность обмотки трансформатора (АТ) таковы, что феррорезонансных явлений в такой схеме не возникает. При отключении в ремонт трансформатора (АТ), используемого для

недопущения явления феррорезонанса, для этих целей используется другой трансформатор с заземленной нейтралью (АТ), подключенный к данной системе шин.

2. В некоторых случаях для недопущения явления феррорезонанса при действии ДЗШ (УРОВ) может быть использована заранее выбранная, на основании соответствующих расчетов, линия, емкостное сопротивление которой подключается к указанному выше контуру, ликвидируя явление феррорезонанса. Реализуется указанный способ следующим образом. Действие ДЗШ (УРОВ) направляется на останов передатчика ДФЗ (ВЧ защиты) или на подрыв канала ДЗЛ для отключения линии с противоположной стороны. На данной подстанции действие ДЗШ (УРОВ) на отключение выключателя линии выводится.

3. Иногда для недопущения явления феррорезонанса могут быть использованы мероприятия, выполненные по местным условиям.

Явление феррорезонанса не возникает при использовании ТН с антирезонансными характеристиками (типа НАМИ) и емкостных ТН.

### **Действия дежурного персонала по недопущению явления феррорезонанса**

При выполнении оперативных переключений дежурный персонал должен руководствоваться следующими положениями.

1. В схемах распреедустройств, где возможно возникновение феррорезонансных явлений оперативные переключения должны производиться в такой последовательности, чтобы не создавались схемы последовательного соединения конденсаторов, шунтирующих контакты выключателей с ТН серии НКФ.

2. На подстанциях, где ТН имеют разъединители, при выводе в ремонт системы шин (ошиновки) с ТН серии НКФ, разъединитель ТН следует отключать перед отключением выключателя последнего присоединения, питающего шины (ошиновку).

3. Если ТН серии НКФ не имеет разъединителя, ввод в работу и вывод из работы системы шин с присоединенным ТН должен производиться шинными разъединителями при включенном выключателе одного из присоединений, который, соответственно, первым включается и последним отключается.

4. В полуторных схемах и схемах многоугольников при выводе в ремонт присоединения с подключенным к его ошиновке ТН серии НКФ, отключение разъединителя отключаемого присоединения должно производиться в последнюю очередь после разборки схемы ошиновки разъединителями. При необходимости замыкания ячейки присоединения после его вывода в ремонт, сборка схемы ошиновки должна

производиться при включенном выключателе одной из электрических цепей.

5. При выполнении операций по п.п. 3 и 4 необходимо деблокировать блокировку между выключателем и разъединителем. Операции по деблокировке должны быть указаны в бланке переключений.

6. Не допускается отключения ТН серии НКФ разъединителем после возникновения условий феррорезонансного процесса.

## **11. Микропроцессорные устройства релейной защиты**

## **и автоматики**

### **Краткое описание и преимущества микропроцессорных устройств РЗА**

В последнее десятилетие в технике релейной защиты и автоматики (РЗА) наступил новый этап, связанный с применением устройств РЗА на микропроцессорной (цифровой) элементной базе. Эти устройства пришли на смену устройствам РЗА, выполненным на электромагнитной и микроэлектронной базе. В последние годы значительно увеличилась доля микропроцессорных устройств РЗА в общем объеме выпуска соответствующих устройств ведущих фирм–производителей. Некоторые фирмы полностью перешли на выпуск устройств РЗА только на микропроцессорной базе. Среди ведущих фирм–производителей устройств РЗА на микропроцессорной элементной базе следует отметить следующие фирмы: Siemens, ABB, AREVA, ЭКРА и другие.

Микропроцессорные устройства РЗА обладают существенными преимуществами по сравнению с устройствами, выполненными на базе электромагнитных реле и реле, использующих микроэлектронную базу. Из основных преимуществ микропроцессорных устройств РЗА следует отметить следующие:

1. Многофункциональность – одно микропроцессорное устройство РЗА осуществляет целый комплекс различных функций: защиту присоединения от всех видов коротких замыканий (КЗ), управление выключателем, устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ) и другие функции.

2. Более высокое быстродействие для основных защит присоединений.

3. Малое потребление мощности по цепям оперативного тока, цепям тока и напряжения.

4. Малые габариты устройств.

5. Большое разнообразие характеристик.

6. Возможность выполнения функций измерения текущих параметров присоединения (токов нагрузки по фазам, уровня рабочего напряжения и т. д.).

7. Регистрацию аварийных ситуаций с записью в память и запоминанием параметров аварийной ситуации – токов и напряжений всех фаз, действия конкретных устройств РЗА.

8. Передачи параметров аварийной ситуации по каналам телефонной или радиосвязи в соответствующие диспетчерские центры.

9. Определение места повреждения на линии электропередачи.

10. Возможность интегрирования микропроцессорного устройства в автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУТП).

11. Возможность дистанционного изменения параметров настройки устройств РЗА.

12. Возможность управления выключателем с терминала микропроцессорного устройства и с клавиатуры персонального компьютера дежурного персонала.

13. Упрощение, удешевление и сокращение времени обслуживания микропроцессорных устройств РЗА по сравнению с устройствами РЗА, выполненными на базе электромеханических реле и реле, выполненных на микроэлектронной базе.

14. Постоянная самодиагностика (тестирование) микропроцессорного устройства с предоставлением отчета о неисправности.

15. Возможность быстрого изменения конфигурации (схемы) устройства РЗА без выполнения дополнительных работ по установке, монтажу и наладке новых реле.

16. Возможность использования микропроцессорных устройств РЗА совместно с устройствами РЗА, выполненными на базе электромеханических реле и микроэлектронной базе.

### **Источники помех, действующих на микропроцессорные устройства РЗА**

Микропроцессорные устройства более чувствительны к различным помехам, чем устройства, выполненные на базе электромагнитных реле и реле, использующих микроэлектронную базу.

На микропроцессорные устройства могут воздействовать следующие источники возмущений.

1. Короткие замыкания в сетях высокого напряжения. При протекании токов КЗ по контуру заземления возникает увеличение потенциала на всем контуре заземления и между отдельными элементами контура заземления.

2. Грозовые разряды на элементы электрооборудования подстанции и линий электропередачи.

3. Коммутационные помехи, возникающие при операциях с выключателями и разъединителями.

4. Электромагнитные поля от работы радиочастотной аппаратуры.

5. Разряды статического электричества.

6. Электрические и магнитные поля промышленной частоты.

7. Переходные процессы в сетях низкого напряжения.



8. Повышенная пульсация напряжения на выходе агрегатов подзарядки для аккумуляторных батарей.

Поэтому на энергообъектах, где устанавливаются микропроцессорные устройства РЗА, должен быть принят комплекс мер по предотвращению негативного влияния помех на работу микропроцессорных устройств РЗА. К этим мерам в первую очередь относятся:

- определение уровня помех на энергообъекте;
- использование микропроцессорных устройств РЗА с высоким уровнем помехозащищенности;
- выполнение качественного контура заземления;
- применение экранированных контрольных кабелей для микропроцессорных устройств РЗА;
- выполнение мероприятий по заземлению панелей защит и шкафов с установленными микропроцессорными устройствами;
- применение фильтров на выходе агрегатов для подзарядки аккумуляторных батарей.

Недостаточный учет влияния источников возмущений на микропроцессорные устройства может привести к отказу или ложному действию, а также к их повреждению.

### **Структура микропроцессорных устройств РЗА**

Микропроцессорные устройства состоят, в основном, из следующих модулей.

#### **1. Устройство связи с объектом (УСО).**

Модуль УСО преобразует аналоговые величины (токи и напряжения, соответственно, от трансформаторов тока и трансформаторов напряжения) для их согласования с параметрами вычислительного комплекса.

#### **2. Модуль мультиплексора.**

В связи с тем, что число входных величин (каналов) обычно несколько десятков, а процессоров, которые производят обработку информации от входных каналов значительно меньше, в микропроцессорном устройстве устанавливается модуль мультиплексора. Этот модуль обеспечивает подключение с определенной частотой входных каналов к процессору.

#### **3. Модуль процессора.**

Модуль процессора в соответствии с заложенной в него программой, уставками защит и входными величинами производит соответствующие вычислительные операции. Модуль процессора должен содержать различные входные порты: подключения внешнего компью-

тера, порты для подключения АСУТП, системы контроля и т. д.

#### 4. Блок интерфейса «человек–защита».

Этот блок устанавливается на лицевой стороне терминала микропроцессорной защиты и содержит светодиоды сигнализации срабатывания, неисправностей, минидисплей и клавиатуру для управления дисплеем и ввода-вывода данных.

#### 5. Модуль дискретного ввода-вывода.

Модуль обеспечивает вывод различных дискретных сигналов (в том числе – действие выходных реле защит) и согласование их с внешними цепями.

### **Краткое описание дифференциальной защиты линии, выполненной на микропроцессорной базе**

Дифференциальная защита линии (ДЗЛ) является основной защитой линии от всех видов коротких замыканий на ней. На каждой стороне линии устанавливается один терминал защиты. Каждый терминал постоянно обменивается сигналами с противоположным терминалом по линии связи. В качестве линии связи часто используется оптоволоконный канал. Преимущество оптоволоконного канала связи состоит в том, что на него не оказывают влияния помехи. ДЗЛ может быть использована для линий, имеющих до 6 концов (линия с активными и пассивными отпайками). Постоянный обмен сигналами терминалов различных концов линии позволяет выполнить непрерывный контроль исправности оптоволоконного канала. При неисправности оптоволоконного канала или одного из терминалов происходит автоматический вывод защит на всех сторонах линии с появлением соответствующих сигналов.

Принцип работы ДЗЛ основан на сравнении величин и фаз токов всех концов линии. Терминал защиты на каждом конце линии преобразует ток и его фазу в цифровой сигнал. Далее, цифровой сигнал преобразуется в кодированный оптический сигнал, который по оптоволоконному каналу связи передается на терминалы защит всех концов этой линии. На противоположных концах линии терминалы защит также преобразуют информацию о величине тока и его фазы в цифровой сигнал и далее – в кодированный оптический сигнал, поступающий в оптоволоконный канал связи.

Информация о величинах и фазах токов всех концов линии поступает в виде оптического сигнала в каждый терминал защиты, где преобразуется в цифровой сигнал и далее цифровой сигнал обрабатывается в процессоре специальной программой. В зависимости от величин и фаз токов всех концов линии процессор решает задачу определения

места КЗ и принимает решение о необходимости отключения линии при повреждении в зоне действия защиты.

Защита может автоматически учитывать емкостной ток заряда линии, погрешности трансформаторов тока, а также бросок тока намагничивания трансформаторов, подключенных к линии при подаче на них напряжения. Автоматический учет указанных параметров позволяет значительно увеличить чувствительность ДЗЛ, выполненной на микропроцессорной базе по сравнению с ранее применявшимися устройствами РЗА.

Минимальное собственное время действия защиты составляет 0,02 секунды.

Наличие оптоволоконного канала позволяет использовать его для передачи команд ускорения резервных защит и команд противоаварийной автоматики.

### **Краткое описание дистанционной защиты, выполненной на микропроцессорной базе**

Дистанционная защита, выполненная на микропроцессорной базе, в отличие от дистанционных защит выполненных на базе электромеханических реле и микроэлектронной базе может быть использована не только для действия при междуфазных КЗ, но и при КЗ на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью. Дистанционная защита выполняется по встречно-ступенчатому принципу, как и ранее применявшиеся защиты. Количество ступеней (зон) дистанционной защиты увеличено до 5 (вместо 3-х у ранее применявшихся защит), что позволяет выполнить более эффективное дальнейшее резервирование.

Для повышения отстройки защиты от параметров нагрузочного режима защита выполнена с весьма гибкими характеристиками. Подобные характеристики позволяют значительно повысить чувствительность защиты.

Защита надежно работает даже при больших величинах переходного сопротивления или дуги в месте КЗ.

Любая зона защиты может быть выполнена ненаправленной, направленной в сторону линии или в сторону шин.

В защите имеется отдельная зона, которая может быть использована для автоматического и/или оперативного ускорения, а также для телеускорения. Высокоэффективное устройство определения повреждения обеспечивает пуск защиты и надежную отстройку ее от асинхронного режима и режима качаний.

### **Краткое описание ТЗНП, выполненной на микропроцессорной базе**

Токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП) на микропроцессорной базе выполняется 4-х ступенчатой со встречно-ступенчатыми характеристиками. Из 4-х ступеней защиты одна ступень может быть выполнена с зависимой от тока характеристикой. Любая ступень может быть выполнена ненаправленной, направленной в сторону линии или направленной в сторону шин. Ступени защиты могут иметь блокировку, предотвращающую их действие при бросках тока намагничивания подключаемых трансформаторов. Имеется возможность выполнить автоматическое и/или оперативное ускорение любой ступени защиты. Защита снабжена высокочувствительным блоком, осуществляющим направленность ступеней защиты. Имеется возможность предотвратить ложное действие чувствительных ступеней защиты при наличии на линии несимметричной нагрузки. Любая ступень ТЗНП может быть использована для передачи команды телеуправления для отключения линии с противоположной стороны.

Указанные выше достоинства микропроцессорной ТЗНП позволяют при использовании микропроцессорных защит иметь на присоединениях высокочувствительную защиту с гибкими характеристиками, обеспечивающими надежную защиту не только самого присоединения, но и осуществлять эффективное дальнейшее резервирование.

## **12. Обязанности дежурного персонала по эксплуатации РЗА**

1. При приемке смены дежурный персонал должен ознакомиться с имеющимися записями, характеризующими состояние РЗА в системе:

1.1. с записями в оперативном журнале о выведенных из действия (по заявке или вследствие неисправности) устройствах РЗА;

1.2. с записями в журнале РЗА на щите управления, сделанными персоналом релейной службы о готовности РЗА к их вводу в действие и об особых условиях эксплуатации РЗА, если эти условия не оговорены в действующих инструкциях, или возникли вследствие создавшегося временного ненормального режима работы системы.

2. Для обеспечения надежной работы РЗА при изменениях в схеме первичной коммутации или в РЗА, дежурный персонал должен, при рассмотрении оперативных заявок на вывод из работы оборудования и на создание ненормальных схем, привлекать персонал соответствующей релейной службы для разработки мероприятий к заявкам. Включение силового электрооборудования в работу после работ на нем, при которых могли произойти неисправности устройств РЗА или же измениться условия их работы и должно производиться с ведома начальника соответствующей релейной службы.

3. Дежурный персонал должен производить запись в оперативном журнале о всех действиях РЗА, с указанием вида действовавшего устройства и ступени (зоны), если защита имеет несколько ступеней (зон).

Для АПВ, АВР, ЧАПВ должна быть дана оценка результатов их работы:

– успешно (оборудование включено действием автоматики);

– неуспешно (оборудование осталось отключенным после действия автоматики);

– отказ (автоматика не действовала на включение оборудования).

Указываются также сопутствующие действию или отказу РЗА факторы, например, сигнал появления «земли» на постоянном токе, сигнал понижения давления воздуха в пневмосети, толчок в сети с пуском осциллографа или фиксирующих приборов, работа персонала в цепях РЗА и другие.

4. В случаях отключения присоединения при отсутствии К.З. одновременного отключения двух присоединений и отключения присоединения только с одной стороны, если оно не вызвано отказом выключателя смежного присоединения или действием введенной по ре-

жиму неселективной защиты, и в других сомнительных действиях РЗА, дежурный персонал должен дать задание местному дежурному персоналу о внеплановой проверке устройства РЗА в объеме, который ему разрешен инструкцией по эксплуатации РЗА.

5. При возникновении неисправности в устройствах РЗА, дежурный персонал должен дать указание - вывести из действия данное устройство, сообщить о неисправности вышестоящему оперативному лицу, в ведении которого находится устройство, а также принять меры, исключающие возможность возникновения аварии (например, включить резервное оборудование, после чего отключить оборудование с неисправной защитой или включить присоединение с неисправной защитой через обходной выключатель с защитами на нем, включить подменные защиты и т.п.).

Дежурный персонал должен дать указание местному оперативному персоналу об устранении неисправности в РЗА (самостоятельно или с привлечением работников МСРЗАИ (ЭТЛ)) и должен содействовать персоналу МСРЗАИ (ЭТЛ) по быстрейшему вводу основных быстродействующих защит (создание благоприятного режима для производства фазировки защит и т.п.)

О возникших неисправностях и устранении их дежурный персонал должен сделать запись в оперативном журнале.

6. При выводе основного оборудования в ремонт и при создании ремонтной схемы дежурный персонал должен, в определенной последовательности выполнять операции, указанные в ремонтных схемах объектов и в программах по сложным переключениям. Эти схемы и программы должны согласовываться с соответствующей службой РЗАИ.

7. При допусках персонала МСРЗАИ к работам на устройствах РЗА дежурный персонал должен обеспечивать условия проведения этих работ.

### **13. Мероприятия при выводе в ремонт силового оборудования**

Для исключения ложного (излишнего) действия устройств РЗА при выводе в ремонт силового оборудования необходимо в цепях РЗА выполнять следующие мероприятия:

1. При выводе из эксплуатации выключателя присоединения с отключением разъединителей с обеих сторон, заземляющие ножи (переносные заземления) в ячейке отключенного выключателя могут устанавливаться с обеих сторон ячейки выключатель – трансформатор тока. Выключатель при этом может находиться в отключенном или во включенном положении в зависимости от типа выключателя и вида работ, производимых в ячейке выключателя. В указанном режиме при КЗ на землю на территории ПС или вблизи нее, а также при производстве сварочных или других работ, возможно протекание токов по контуру заземления. Часть тока, протекающая по контуру заземления проходит через трансформаторы тока и попадает в устройства РЗА, находящиеся в работе, что может привести к ложному срабатыванию устройств РЗА и действию на отключение выключателя.

Для исключения ложного действия РЗА в указанном выше режиме необходимо при отключении ячейки выключатель – трансформатор тока с установкой заземлений с двух сторон вне зависимости от положения выключателя («включено» или «отключено») исключить токовые цепи отключенного трансформатора тока из остающихся в работе устройств РЗА.

Данная операция, в зависимости от конкретной схемы токовых цепей, может выполняться оперативным персоналом посредством отключения токовых блоков или релейным персоналом путем закорачивания соответствующих токовых цепей на клеммнике в сторону трансформаторов тока с последующим отключением их в сторону действующих устройств РЗА.

При выводе из эксплуатации ячейки выключатель – трансформатор тока с установкой заземления только с одной стороны отключения токовых цепей отключенного трансформатора тока от действующих устройств РЗА не требуется (при условии, что при этом никаких работ в токовых цепях отключенного трансформатора тока не производится).

2. При выводе в ремонт трансформатора (АТ) необходимо вывести действие газовой защиты на отключение выключателей трансформатора (АТ), остающихся в работе, для исключения ложного отключения указанных выключателей при замыкании контактов газовой

го реле из-за снижения уровня масла в трансформаторе (АТ).

При выполнении работ релейным персоналом в цепях РЗА выведенного в ремонт трансформатора (АТ) необходимо предварительно вывести действие всех защит трансформатора(АТ) на отключение остающихся в работе выключателей.

3. При выводе в ремонт ВЛ 110–330 кВ, на которой в качестве основной защиты установлена панель защиты типа ПДЭ–2802 с ВЧ постом, имеющим устройство автоконтроля ВЧ канала, возможен длительный пуск ВЧ передатчика от устройства автоконтроля ВЧ канала. Для исключения повреждения ВЧ поста в указанном выше случае необходимо при выводе в ремонт ВЛ 110–330 кВ выводить из действия устройство автоконтроля ВЧ канала.

4. При выводе в ремонт выключателя трансформатора (АТ) необходимо выводить действие всех защит этого выключателя (включая защиту от непереключения фаз) на выходные реле защит трансформатора (АТ) для исключения отключения оставшихся в работе выключателей трансформатора (АТ).

5. При оперативном включении выключателя, оснащенного устройством АВР, необходимо предварительно выводить из действия данное устройство АВР для исключения его излишнего действия при отключении выключателя от защит. При выводе в ремонт секции или системы шин необходимо выводить из действия АВР, выполненного на СВ или МШВ данного распреустройства.



#### **14. Перечень устройств РЗА, которые должны выводиться из работы при операциях с испытательными блоками**

При операциях с токовыми испытательными блоками из-за появления кратковременной несимметрии токов могут ложно сработать устройства РЗА, которые имеют ток срабатывания меньше номинального или срабатывают по снижению тока. Поэтому такие устройства на время операций с испытательными блоками должны выводиться из работы.

К указанным устройствам защиты и автоматики относятся следующие устройства:

- дифференциально-фазные защиты ВЛ–110–750 кВ типа ДФЗ;
- дифференциальные защиты автотрансформаторов и генераторов;
- защиты по току обратной последовательности на генераторах и автотрансформаторах;
- дифференциальные защиты трансформаторов, ток срабатывания которых меньше номинального тока трансформатора;
- земляные комплекты ВЧ защит и ВЧ блокировок;
- последние ступени ТЗНП, у которых ток срабатывания меньше тока нагрузки;
- некоторые устройства противоаварийной автоматики;

Кроме того, возможна ложная работа земляной защиты генераторов типа ЗЗГ–1 и БРЭ–1301 при операциях с блоками в цепях напряжения этой защиты.

**Примечание.** Некоторые пункты данного перечня могут носить рекомендательный характер и выполняться по местным условиям.

## Список литературы

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ, ЭНАС, 2004.
2. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей. М.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Чернобровов Н.В. Релейная защита. М.: Энергия, 1974.
4. Руководящие указания по релейной защите. Выпуски: №№ 3, 7, 9, 10, 12, 13 А. М: Энергия, 1961–1980.

Елецкий Константин Вячеславович  
Меркурьев Геннадий Васильевич

**Релейная защита энергосистем  
для оперативного персонала**

Учебное пособие

Издание Центра подготовки кадров энергетики,  
194223, Санкт-Петербург, а/я 44.  
Тираж 2000 экз., 2009 г.

## НОУ «Центр подготовки кадров энергетики»



Негосударственное образовательное учреждение «Центр подготовки кадров энергетики» организовано во время реструктуризации энергетики. Основной задачей Центра является подготовка, переподготовка и повышение квалификации руководящего, оперативно-диспетчерского и эксплуатационного персонала энергосистем и промышленных предприятий.

Учебный центр сотрудничает с ведущими научно-исследовательскими институтами, вузами Санкт-Петербурга, предприятиями-производителями энергетического оборудования, привлекая ведущих специалистов для освещения актуальных на современном этапе вопросов эксплуатации, монтажа, ремонта электротехнического и тепломеханического оборудования. Сочетание лекционных и практических занятий, с посещением действующих энергообъектов и заводов-производителей электротехнического оборудования, позволяет достичь максимальной эффективности учебного процесса, что приводит к повышению надежности и безаварийности работы энергообъектов. Для проведения практических занятий оборудованы лаборатории вычислительной техники, релейной защиты и автоматики, техники безопасности.

Структура учебного Центра соответствует основным направлениям обучения. В состав центра входят следующие кафедры:

«Оперативно-диспетчерское управление энергопредприятиями»

«Релейная защита и противоаварийная автоматика»

«Эксплуатация и ремонт тепломеханического оборудования электростанций»

«Эксплуатация и ремонт электротехнического оборудования электростанций и подстанций»

«Эксплуатация и ремонт оборудования кабельных сетей»

«Эксплуатация и ремонт оборудования распределительных сетей»

«Техника безопасности на объектах энергетики»

«Программное обеспечение компьютеров на энергообъектах»

«Строительство и реконструкция электростанций и сетей»

Ваши специалисты могут пройти обучение и повысить квалификацию в НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», действующем на основании лицензии № 101764 от 16 декабря 2005 г., выданной Комитетом по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга.



**Наш адрес:** Санкт-Петербург, ул. Шателена, д.3

**Почтовый адрес:** 194223, Санкт-Петербург, а/я 44

**Телефоны для справок:**

Учебно-методический отдел: тел. (812) 556-91-85, 556-92-61,  
факс (812) 297-18-01

Бухгалтерия: тел. (812) 556-91-67, факс (812) 297-38-92

**E-mail:** metodist@cpk-energo.ru

**Сайт:** <http://www.cpk-energo.ru>