

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторным работам по дисциплине

**«РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА»**

для студентов дневной и заочной форм обучения  
специальности 7.05070106 «Системы управления производством  
и распределением электроэнергии»

Утверждено  
редакционно-издательским  
советом университета,  
протокол № 1 от 07.06.13 г.

Харьков  
НТУ «ХПИ»  
2014

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Релейная защита» для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 7.05070106 «Системы управления производством и распределением электроэнергии» / сост. Баженов В.Н. – Х. : НТУ ХПИ», 2014. – 48 с. – на рус. яз.

Составитель В.Н. Баженов

Рецензент Ю.В. Владимиров

Кафедра «Автоматизация энергосистем»

## **ВВЕДЕНИЕ**

Изучение релейной защиты тесно связано с принципами работы электроустановок и переходными процессами, происходящими в них. Научные и методические основы заложены в самой сути крупных энергетических систем, главной особенностью которых является непрерывность технологического процесса выработки, передачи, распределения и потребления электроэнергии.

Цель лабораторных работ – углубление и закрепление знаний по курсу «Релейная защита» на примерах технических средств релейной защиты и автоматики электрической части станций, подстанций и промышленных предприятий. В ходе выполнения лабораторных работ изучаются шкафы релейной защиты и автоматики в комплектных распределительных устройствах (КРУ), шкаф дистанционной и токовой защиты типа ШДЭ 2802 .

Студенты должны также рассмотреть такие виды технических средств: схемы управления, защиты и сигнализации высоковольтных выключателей; максимальные токовые защиты; защиты минимального напряжения; четырехступенчатые токовые направленные защиты нулевой последовательности и трехступенчатые дистанционные защиты линий 110-330 кВ с двухсторонним питанием и закрепить знания по данной теме. Предложенные лабораторные работы являются завершающим этапом в изучении курса «Релейная защита».

По окончании лабораторных работ студенты должны уметь определять вторичные цепи защиты и автоматики, основные характеристики и принципы действия устройств релейной защиты, выбор уставок средств защиты, особенности конкретного применения средств релейной защиты и автоматики в различных условиях работы электроустановок.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА РЗ – 9  
**УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ  
(переменный оперативный ток)**

*Цель работы:* на примере физической модели шкафа релейной защиты и автоматики в комплектной распределительной установке (КРУ) изучить принципы действия устройства управления и защиты электроустановки (переменный оперативный ток), а также приобрести практические навыки расчетов, выставления величины срабатывания защиты (уставок) и проверки исправности схем управления и защиты.

**Подготовка к работе**

1. Изучить принципы управления и защиты электроустановок. Рекомендуемая литература [1 – 5].
2. Ознакомиться с основными техническими средствами схем управления и защиты электроустановок. Рекомендуемая литература [6].
3. Подготовить расчет величины срабатывания (уставок) защиты электродвигателя. Методика расчета приводится на практических занятиях.

**Пояснения к работе**

Кроме главных схем электроустановок, или схем первичных соединений, указывающих пути прохождения электроэнергии от источника питания к потребителю, существуют также схемы вторичных соединений, в которых с помощью условных графических изображений указаны элементы вторичных устройств и соединения между ними и элементами основного оборудования (измерительные трансформаторы, коммутационная аппаратура и др.). Ко вторичным устройствам, или устройствам управления и защиты электроустановок относятся контрольно-измерительные приборы, устройства релейной защиты и автоматики, аппаратура управления и блокировок, аварийной и предупредительной сигнализации. Принципиальные схемы составляются применительно к отдельным элементам: цепям релейной защиты, цепям управления и сигнализации, соединениям измерительных приборов. Эти схемы являются основой для составления полных схем, которые охватывают вторичные соединения, относящиеся к одному присоединению главной схемы, обособленному по функциональному, технологическому или структурному признаку (генератор, трансформатор, линия, присоединения фидеров нагрузки).

По форме изображения принципиальные и полные схемы могут быть свернутыми и развернутыми. В свернутых схемах все приборы и аппараты изображаются в собранном виде со всеми относящимися к ним катушками и контактами. При значительном количестве участвующих в них элементов свернутые схемы становятся неудобочитаемыми. В них затруднена проверка правильности выполнения электрических соединений на чертеже и в натуре. В развернутых схемах, которые в настоящее время получили исключительное применение, аппараты и приборы расчленяются на составные элементы. Они связываются между собой в порядке протекания тока, например от полюса «+» к полюсу «-», или от фазы к фазе (от фазы к нулю).

К устройствам управления и защиты электроустановок относятся все устройства и соединяющие их электрические цепи, предназначенные для:

- управления коммутационной аппаратурой, осуществления устройств-блокировки, сигнализации и т. п.;
- измерений электрических параметров (тока, напряжения, мощности, энергии, частоты и пр.) основных элементов электрооборудования или линии электропередачи;
- контроля за заданным режимом работы и техническим состоянием оборудования;
- защиты электроустановок, отключающей поврежденное оборудование и сохраняющей в работе неповрежденное оборудование.

Все вторичные цепи в соответствии с их назначением подразделяются на три основных вида – токовые, напряжения и оперативные. Указанные цепи в комплексе (совместно) обеспечивают выполнение тех задач, о которых было сказано выше.

В данной лабораторной работе рассматриваются принцип работы и пример выполнения схемы управления, сигнализации и защиты электроустановки 6 кВ (например, электродвигателя). Существует два вида управления выключателями: дистанционное и местное. Под местным понимается управление выключателем с помощью командных аппаратов, расположенных на его приводе, или в непосредственной близости от него.

Дистанционное управление высоковольтными выключателями осуществляется со щита управления, путем подачи на схему управления ко-

манд «Включить» или «Отключить» при помощи ключа (кнопки) управления. Щит управления может быть удален от управляемых выключателей на расстояние до нескольких сотен метров. Контроль за положением выключателя осуществляется при помощи контрольных ламп или специальных светодиодов. Включенному положению выключателя соответствует свечение красной сигнальной лампы, отключенному положению – свечение зеленой. Схема управления высоковольтного выключателя состоит из командного аппарата (ключ управления), реле, клеммников и вспомогательного оборудования (электромагниты включения и отключения, блок-контакты), проводов и контрольных кабелей.

Схемы управления высоковольтными выключателями должны отвечать общим требованиям:

1. После завершения операции включения или отключения выполняется автоматический съём управляющего импульса, поскольку электромагниты и контакторы не рассчитаны на длительное прохождение токов.

2. Обеспечивается блокировка от многократных включений и отключений выключателя (блокировка от «прыганья») при включении на короткое замыкание.

3. Для предотвращения неполного завершения или срыва операции предусматривается подхват командных импульсов.

4. Цепи управления и сигнализации имеют защиту от коротких замыканий предохранителями или автоматическими выключателями. Предусматривается контроль исправности цепей управления и сигнализации.

5. Предусматривается непрерывный автоматический контроль исправности цепей включения и отключения выключателя, поскольку обрыв цепи может привести к отказу в срабатывании устройств релейной защиты и автоматики.

6. Обеспечивается возможность не только дистанционного управления (ключами и кнопками), но и управления автоматического (средствами релейной защиты и автоматики).

Оперативный ток используется для управления коммутационными аппаратами (выключателями, разъединителями, отделителями, короткозамыкателями, различными автоматическими, пульсовыми и другими устройствами), а также для питания оперативных цепей релейной защиты

и автоматики, определяющих с помощью промежуточных аппаратов (реле тока, времени, промежуточных и др.) логическую последовательность операции при срабатывании пусковых органов защиты и автоматики (реле тока, напряжения, мощности, сопротивления, катушки которых получают питание от трансформаторов тока и трансформаторов напряжения, повторяющих изменения тока и напряжения того присоединения, к которому они относятся), в результате которой происходит воздействие на исполняющие органы коммутационных аппаратов (например, электромагниты включения и отключения). Оперативный ток может быть постоянным, выпрямленным, переменным. При применении традиционных средств (ключей управления и электромеханических реле) для управления, защиты, автоматики и сигнализации в настоящее время принимается напряжение 220 В оперативного тока. В лабораторной работе применяется переменный оперативный ток.

В качестве командного аппарата в схеме применяется ключ управления *SA* (КУ), управляющий промежуточными реле-повторителями команд «Включить» и «Отключить» – соответственно *KCC1* (РКВ1) и *KCT1* (РКО1). Исполнительными органами в приводе выключателя являются электромагнит включения *YAC* (ЭВ) и электромагнит отключения *YAT* (ЭО).

Для автоматического ограничения длительности командных импульсов в цепи управления вводятся блок-контакты выключателя *QF* (В): в цепь ЭО – замыкающий, в цепь ЭВ – размыкающий. Реле *KQT1* (РПО1) положения «Отключено» получает питание через цепь электромагнита включения, осуществляет контроль ее исправности и подтягивается при отключенном положении выключателя. Реле *KQC1* (РПВ1) положения «Включено» получает питание через цепь электромагнита отключения, контролирует ее исправность и подтягивается при включенном положении выключателя.

Для фиксации положения выключателя и формирования сигнала несоответствия при аварийном отключении используется двухпозиционное реле *KQQ1* (РФ) типа РП-8. При включении выключателя реле РФ срабатывает через замыкающийся контакт реле *KQC1* (РКВ1).

При оперативном отключении выключателя от ключа управления реле РФ возвращается в исходное состояние через замыкающие контакты

реле команды «Отключить» *KCT1* (РКО).

Для предотвращения многократных включений выключателя на устойчивое к.з., что может иметь место при застревании контактов реле *KL1* (РП1) устройства АПВ в замкнутом состоянии, используется специальное реле *KBS1* (РБМ) (например, типа РП-232, или РП16-44), имеющее две обмотки: последовательную (токовую) рабочую и удерживающую параллельную обмотку напряжения. Реле *KBS1* (РБМ) срабатывает при прохождении тока по катушке электромагнита отключения выключателя и удерживается в сработанном положении до снятия команды на включение выключателя. При этом размыкающий контакт РБМ разрывает цепь электромагнита включения, блокируя включение выключателя.

В состав защиты электроустановки входят максимальная токовая отсечка от междуфазных замыканий, защита от перегрузки и защита минимального напряжения, выполненных на реле тока, напряжения и времени.

Пример схемы цепей переменного и оперативного тока отсечки электродвигателя приведен на рис. 9.1. Токовая отсечка является основной быстродействующей защитой от междуфазных к.з. в обмотке и на выводах электродвигателя 6 кВ. В зону действия отсечки входит питающий кабель, выводы и часть обмотки статора электродвигателя (рис. 9.1). Отсечка отключает электродвигатель без выдержки времени, не действует при витковых замыканиях и замыканиях на «землю» в обмотке электродвигателя.

Отсечка выполнена по двухфазной двухрелейной схеме. Пусковыми органами отсечки являются два реле тока *KA1*, *KA2* типа РТ-40, включенные на фазные токи соединенных по схеме неполной звезды вторичных обмоток трансформаторов тока (*ТА*), которые установлены на фазах «А» и «С» в ячейке выключателя 6 кВ. При срабатывании отсечка действует на отключение выключателя 6 кВ *Q1* через промежуточное реле *KL1*.

Отключение выключателя на БЩУ сопровождается звуковым сигналом аварийного отключения (гудок) и миганием зеленой лампы сигнализации положения выключателя на БЩУ. Срабатывание отсечки фиксируется указательным реле *KN2*. При этом на двери релейного отсека ячейки 6 кВ электродвигателя загорается сигнальная лампа, а на соответствующей панели БЩУ – табло \*Вызов на секцию КРУ-6 кВ\*. Загорание табло сопровождается звуковым предупредительным сигналом (звонок).



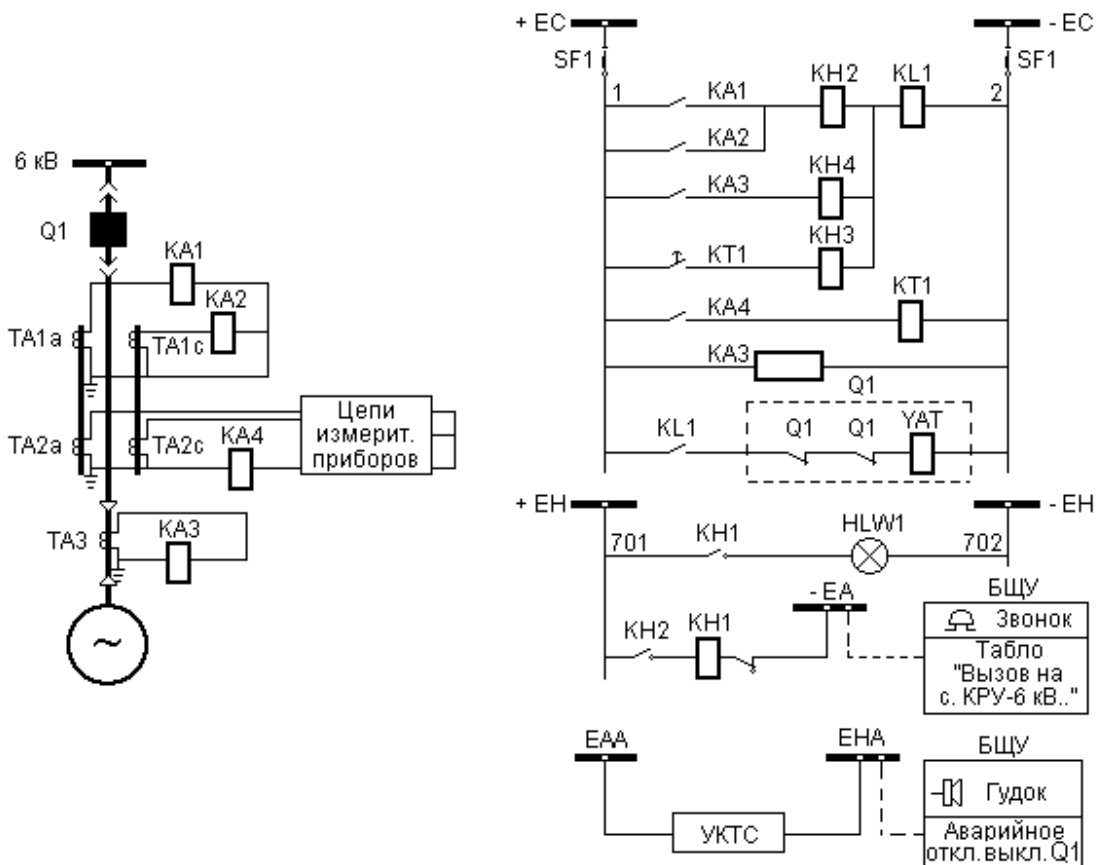


Рисунок 9.1 – Схема цепей переменного и оперативного тока отсечки электродвигателя

Время действия отсечки включает – время срабатывания токового и промежуточного реле и составляет 0,04–0,08 с. Такое значение времени срабатывания позволяет не учитывать апериодическую составляющую пускового тока, поскольку последняя затухает за 0,02–0,03 с.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с расположением основных элементов лабораторного стенда «Устройство управления и защиты электроустановки (переменный оперативный ток)», электрическая схема представлена на стенде.
2. Переписать со стенда в табличной форме все паспортные данные реле схемы управления и защиты электроустановки.
3. По заданию преподавателя (по результатам студенческих расчетов на практических занятиях) выставить уставки устройств защиты.
4. Подать питание на лабораторный стенд.
5. Ключом управления выполнить операцию включения.

6. Выполнить проверку измерительных органов защит.
7. Выполнить проверку логических частей защит электроустановки.
8. Составить принципиальную электрическую схему по цепям переменного и оперативного тока .

### **Содержание отчета**

1. Краткое описание работы.
2. Паспортные данные реле схемы управления и защиты.
3. Результаты проверки измерительных органов защиты.
4. Результаты проверки логических частей защиты электроустановки.
5. Принципиальная электрическая схема по цепям переменного и оперативного тока .
6. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. На какие основные виды подразделяются способы изображения схем релейной защиты и автоматики?
2. На какие группы подразделяются отказы релейной защиты?
3. Какие функции в цепях управления имеют реле *KQC* и *KQT*?
4. Какие функции в цепях управления имеют реле *KCT* и *KCC*?
5. Как повлияет на время срабатывания увеличение тока сверх уставки в обмотке реле РТ-40?
6. Как влияет использование реле тока с пониженным коэффициентом возврата на выбираемое значение тока срабатывания максимальной токовой защиты?
7. Как влияет использование реле тока с повышенным коэффициентом возврата на чувствительность защиты?
8. Как учитывается при выборе тока срабатывания токовой отсечки наличие в первичном токе сквозного к.з. аperiodической составляющей?
9. Укажите на лабораторном стенде реле тока защиты от междуфазных коротких замыканий электроустановки.
10. Поясните принципы выполнения релейной защиты (на примере схемы). Укажите основную и резервную.
11. Покажите на лабораторном стенде способы выставления уставок максимальной токовой защиты.
12. Как проверяется исправность схемы управления и защиты?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА РЗ – 10  
**УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ  
(постоянный оперативный ток)**

*Цель работы:* на примере физической модели шкафа релейной защиты и автоматики в комплектной распределительной установке (КРУ) изучить принципы действия устройства управления и защиты электроустановки (постоянный оперативный ток), а также приобрести практические навыки расчетов, выставления уставок и проверки исправности схем управления и защиты.

**Подготовка к работе**

1. Изучить принципы управления и защиты электроустановок. Рекомендуемая литература [1 – 5].
  2. Ознакомиться с основными техническими средствами схем управления и защиты электроустановок. Рекомендуемая литература [6].
  3. Подготовить расчет уставок защиты электродвигателя.
- Методика расчета приводится на практических занятиях.

**Краткие пояснения к работе**

Принципы выполнения устройств управления высоковольтными электроустановками, а также назначение основных ее элементов показаны на примере схемы, выполненной на постоянном оперативном токе (рис.10.1).

Включение выключателя осуществляется подачей команды «Включить» при помощи ключа управления SA (КУ) на исполнительный орган – электромагнит (соленоид) включения YAC (ЭВ). Параллельно ключу управления подключены также контакты реле автоматики включения по автоматическому повторному включению (АПВ). Цепи электромагнитов управления привода выключателя должны автоматически размыкаться после завершения операции включения или отключения.

Для уменьшения разрушительного действия электрохимической коррозии, свойственной постоянному электрическому току, электромагниты включения и отключения, встроенные в привод выключателя, постоянно соединены с шинкой, имеющей отрицательный потенциал.

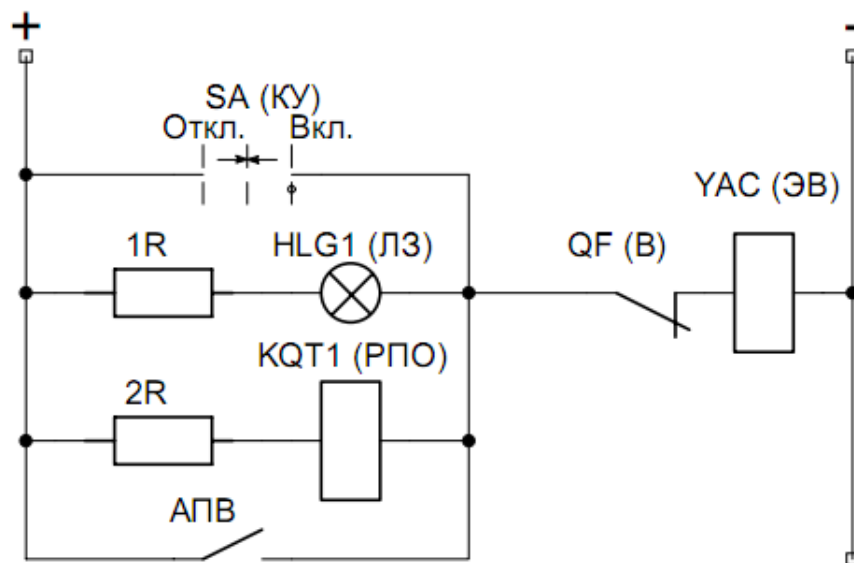


Рисунок 10.1 – Цепи включения выключателя

Время, необходимое для включения выключателя, составляет доли секунды, и соленоид включения рассчитан на кратковременную работу. Для ограничения длительности протекания тока по катушке электромагнита включения в ее цепь включаются блок-контакты выключателя  $QF$  (В), замкнутые в отключенном положении выключателя и разрывающие цепь после завершения операции включения. Во избежание пригорания контактов ключа управления или контактов реле, блок – контакты регулируются таким образом, чтобы они размыкались первыми.

Для сигнализации отключенного положения выключателя и контроля исправности цепи включения выключателя, в простейшем случае, может быть использована сигнальная лампа  $HLG1$  (ЛЗ) зеленого цвета, включенная параллельно контактам ключа управления. Для исключения ложного включения выключателя ток обходной цепи выбирается не более 10–15 % тока срабатывания электромагнита включения. Для защиты от ложного включения выключателя при коротком замыкании в самой лампе (например, при ее перегорании) последовательно с ней устанавливается добавочное сопротивление.

В общем случае, для сигнализации отключенного положения выключателя и контроля исправности цепи включения выключателя используется реле положения «Отключено»  $KQT1$  (РПО), включенное аналогично

сигнальной лампе *HLG1* (ЛЗ).

Пример цепи отключения выключателя приведен на рис. 10.2. Команда на отключение выключателя от ключа управления *SA* (КУ) подается на электромагнит отключения *YAT* (ЭО). Параллельно контактам ключа управления подключены замыкающиеся контакты релейной защиты (РЗ) выходных реле защиты, действующей на отключение выключателя.

Для ограничения длительности протекания тока по катушке электромагнита отключения в ее цепь включаются блок – контакты выключателя *QF* (В), замкнутые во включенном положении выключателя и разрывающие ее цепь после завершения операции отключения.

Для сигнализации включенного положения выключателя и контроля исправности цепи отключения выключателя, аналогично рассмотренной выше цепи включения, могут быть использованы сигнальная лампа *HLR1* (ЛК) красного цвета, или реле положения «Включено» *KQC1* (РПВ), включенные параллельно контактам ключа управления.

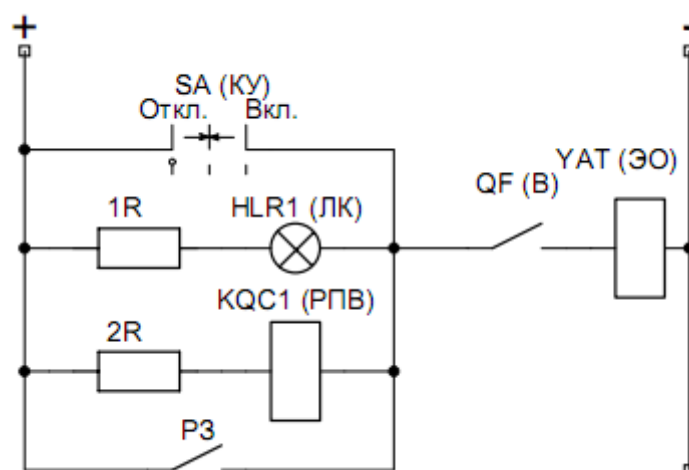


Рисунок 10.2 – Цепи отключения выключателя

Блокировка от прыганья выполняется, как правило, в двух вариантах: механическая – с использованием блок – контактов электромагнита отключения и электрическая – с использованием специального двухобмоточного реле. Пример схемы блокировки от «прыганья» выключателя со специальным двухобмоточным промежуточным реле *KBS1* показан на рис. 10.3.

Для предотвращения многократных включений выключателя на

устойчивое к.з. используется специальное реле РБМ, например типа РП-232, или РП16-44, имеющее две обмотки: последовательную (токовую) рабочую и удерживающую параллельную обмотку напряжения.

При отключении выключателя реле *KBS1* (РБМ) срабатывает при прохождении тока по катушке электромагнита отключения выключателя, самоудерживается через контакт *KBS1.3* до отключения выключателя. И если к моменту отключения выключателя команда на включение еще сохранилась, реле *KBS1* (РБМ) удерживается в сработанном положении через контакт *KBS1.1* (РБМ) до снятия команды на включение выключателя. При этом размыкающий контакт *KBS1.2* (РБМ) разрывает цепь электромагнита включения, блокируя включение выключателя.

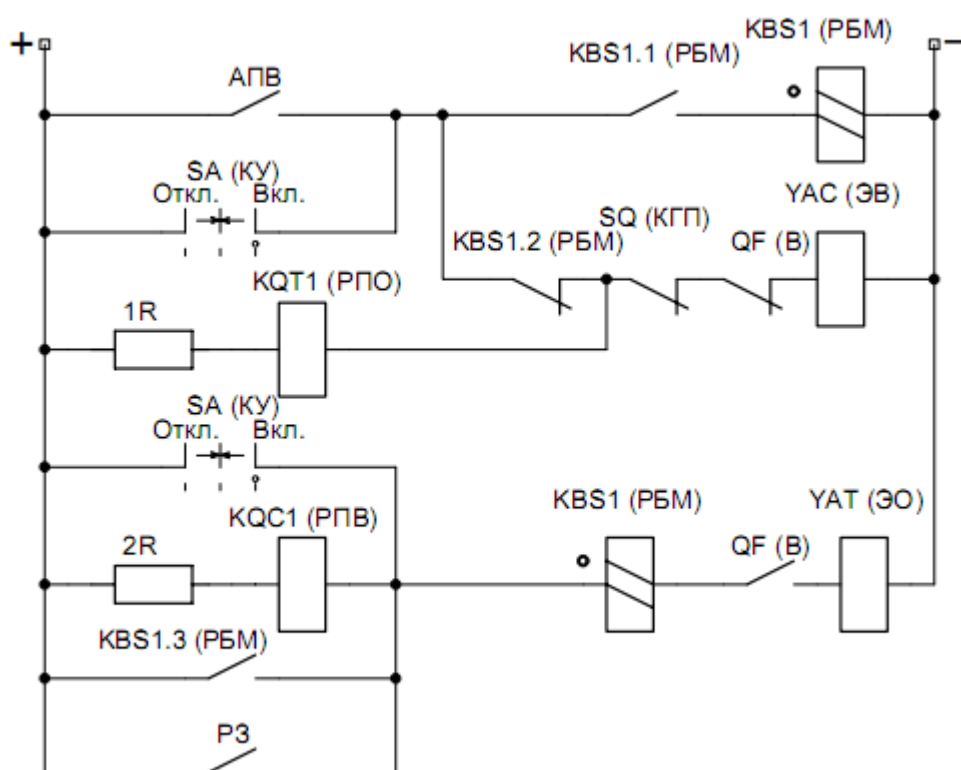


Рисунок 10.3 – Схема блокировки от «прыганья» с применением специального реле блокировки от многократных включений

Пример схемы защиты на постоянном оперативном токе приведен на рис.10.4. Основные реле защиты схемы полной звезды :пусковой орган – токовые реле *КА*, орган времени – реле времени *КТ*. Схема применяется для защиты от всех видов однофазных и междуфазных к.з.. Для каждой схемы соединений можно определить отношение тока в реле  $I_p$  к току в

фазе  $I_{\phi}$ , это отношение называется коэффициентом схемы  $k_{cx} = \frac{I_p}{I_{\phi}}$ . Для схемы на рис. 10.4  $k_{cx} = 1$ . Схема соединения трансформаторов тока и обмоток реле в неполную звезду (схема неполной звезды применяется только для защиты от междуфазных к.з. в сетях с изолированными нулевыми точкам).

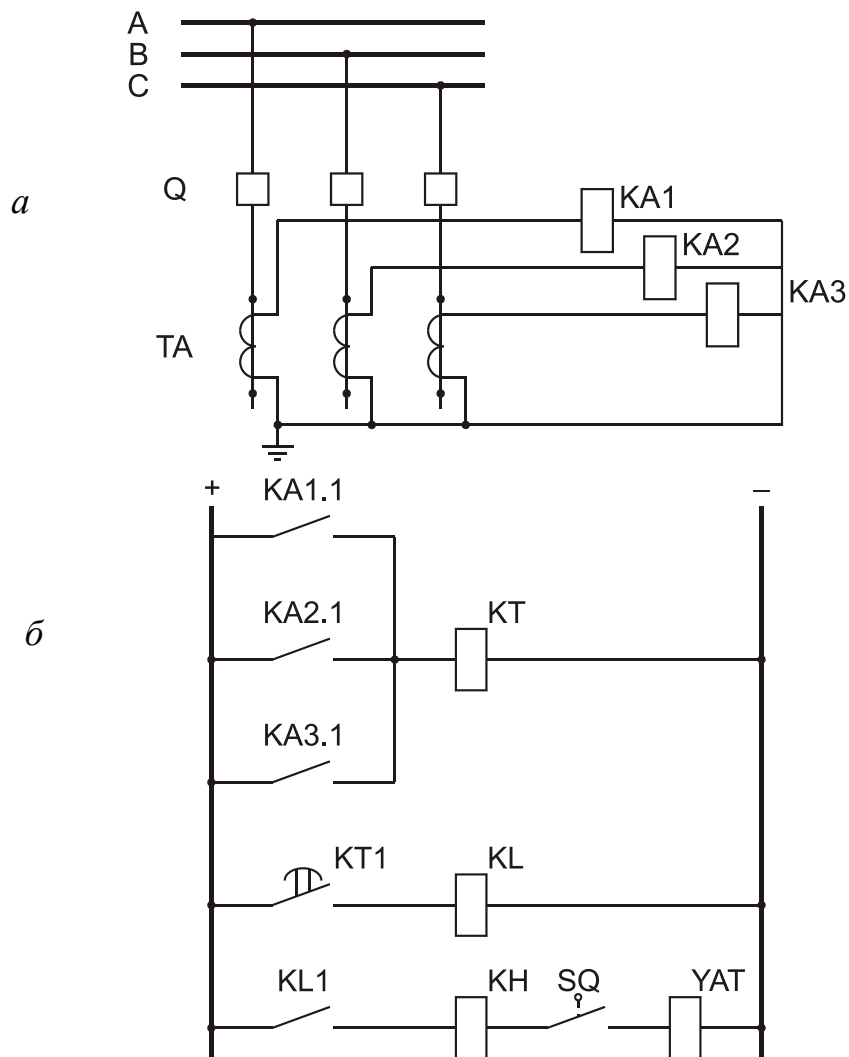


Рисунок 10.4 – Схема максимальной токовой защиты на постоянном оперативном токе: *а* – токовые цепи; *б* – цепи оперативного тока

### Содержание отчета

1. Краткое описание работы.
2. Паспортные данные реле схемы управления и защиты .
3. Результаты проверки измерительных органов защиты .

4. Результаты проверки логических частей защиты электроустановки.
5. Электрическая схема защит (пример на рис. 10.5).
6. Выводы.

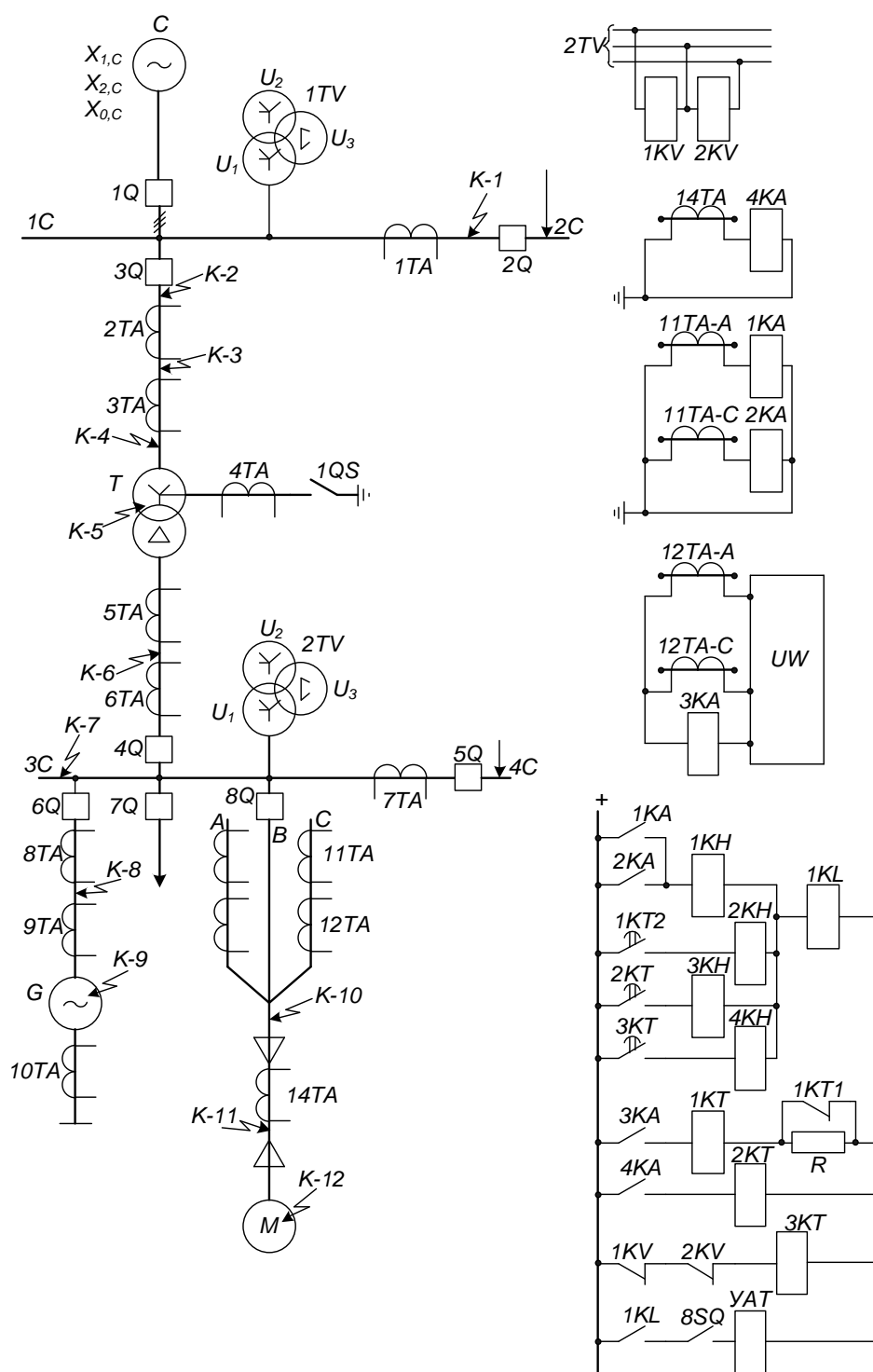


Рисунок 10.5 – Принципиальная схема релейной защиты



## Контрольные тесты

**Q1.** Каковы диапазоны регулирования параметров срабатывания при последовательном соединении обмоток у реле типа РТ40/0,2?

**VI.** 0,1...0,2 А **V2.** 0...0,2 А **V3.** 0,05...0,1 А

**Q2.** По какой формуле рассчитывается ток повреждения для проверки чувствительности токовой отсечки трансформатора Т к однофазному к.з. на землю в точке К-3 (рис. 10.5)?

**VI.**  $\frac{3 \cdot U_{\phi}}{x_{1,C} + 2 \cdot x_{0,C}}$  **V2.**  $\frac{\sqrt{3} \cdot U_{\phi}}{x_{1,C} + x_{2,C} + x_{0,C}}$  **V3.**  $\frac{U_{\phi}}{x_{1,C} + x_{2,C} + x_{0,C}}$  **V4.**  $\frac{3 \cdot U_{\phi}}{x_{1,C} + x_{2,C} + x_{0,C}}$

**Q3.** Какое реле предназначено для сигнализации срабатывания защиты электродвигателя от перегрузки (рис. 10.5)?

**VI.** 2KH **V2.** 3KH **V3.** 4KH **V4.** 1KH **V5.** 2KT

**Q4.** Какое реле предназначено для сигнализации срабатывания защиты электродвигателя от понижения напряжения источника питания (рис. 10.5)?

**VI.** 4KH **V2.** 2KT **V3.** 3KH **V4.** 2KH **V5.** 1KH

**Q5.** Какое реле предназначено для сигнализации срабатывания защиты электродвигателя от междуфазного к.з. (рис. 10.5)?

**VI.** 4KH **V2.** 3KH **V3.** 2KH **V4.** 1KH **V5.** 1KL

**Q6.** Какое реле предназначено для сигнализации срабатывания защиты электродвигателя от замыкания на землю (рис. 10.5)?

**VI.** 1KH **V2.** 1KL **V3.** 3KH **V4.** 4KH **V5.** 2KH

**Q7.** Укажите измерительные органы, контролирующие состояние защищаемого электродвигателя М при перегрузках (рис. 10.5).

**VI.** 4КА **V2.** 3КА **V3.** 2КА **V4.** 1КВ **V5.** 2КВ

**Q8.** Укажите измерительные органы, контролирующие состояние защищаемого электродвигателя М при понижении напряжения на секции 3С (рис. 10.5).

**VI.** 1КВ **V2.** 1КА **V3.** 2КА **V4.** 3КА **V5.** 4КА

**Q9.** Рассчитайте ток срабатывания МТЗ на стороне высшего напряжения ( $K_{сзп} = 1,34$ ;  $K_{в} = 0,8$ ) по условию несрабатывания после отключения близкого внешнего к.з. в точке К-10 для трансформатора Т типа ТДН-10000/110 ( $U_{вн} = 121$  кВ;  $U_{нн} = 6,3$  кВ) (рис. 10.5).

**VI.** 150 А **V2.** 100 А **V3.** 80 А **V4.** 60 А

**Q10.** Укажите измерительные органы, контролирующие состояние защищаемого электродвигателя М при двухфазном к.з. фаз АС (рис. 10.5).

**VI.** 4КА **V2.** 3КА **V3.** 2КА **V4.** 2КТ **V5.** 1КТ

**Q11.** Укажите измерительные органы, контролирующие состояние защищаемого электродвигателя М при замыкании на землю (рис. 10.5).

**VI. 4 KA V2. 3KA V3. 1KA V4. 2KA V5. 2KV**

**Q12** Укажите измерительные органы, контролирующие состояние защищаемого электродвигателя М при к.з. в точке К-7 (рис. 10.5).

**VI. 2KA V2. 3KA V3. 1KA V4. 1KV V5. 4KA**

**Q13.** Укажите логические органы защиты электродвигателя от перегрузки (рис. 10.5).

**VI. 1KT V2. 2KT V3. 3KT V4. 1KL V5. YAT**

**Q14.** Укажите логические органы защиты электродвигателя от потери питания (рис. 10.5).

**VI. YAT V2. 3KT V3. 2KT V4. 1KT V5. 1KL**

**Q15.** Какими измерительными трансформаторами определяется зона действия дифференциальной защиты трансформатора Т (рис. 10.5)?

**VI. 2TA; 5TA V2. 2TA; 7TA V3. 1TA; 5TA**

**V4. 2TA; 6TA V5. 1TA; 6TA**

**Q16.** Какими измерительными трансформаторами определяется зона действия максимальной токовой защиты стороны низшего напряжения трансформатора Т (рис. 10.5)?

**VI. 1TA; 1TV V2. 2TA; 1TV V3. 5TA; 2TV V4. 6TA; 2TV V5. 7TA; 2TV**

**Q17.** Какими измерительными трансформаторами определяется зона действия защиты трансформатора Т от коротких замыканий на землю (рис. 10.5)?

**VI. 1TA V2. 6TA V3. 5TA V4. 4TA V5. 7TA**

**Q18.** Какими измерительными трансформаторами определяется зона действия защиты электродвигателя М от междуфазных к.з. (рис. 10.5)?

**VI. 11TA V2. 12TA V3. 14TA V4. 6TA V5. 7TA**

**Q19.** Какими измерительными трансформаторами определяется зона действия защиты электродвигателя М от замыкания на землю (рис. 10.5)?

**VI. 12TA V2. 14TA V3. 11TA V4. 6TA V5. 2TV**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА РЗ – 11  
**ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТОКОВОЙ  
ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ**

*Цель работы:* на примере шкафа дистанционной и токовой защиты типа ШДЭ 2802 изучить принцип действия четырехступенчатой токовой направленной защиты нулевой последовательности линий 110 – 330 кВ с двухсторонним питанием, а также приобрести практические навыки расчетов и установок необходимых величин срабатывания реле, проверки исправности защиты и блоков питания.

**Подготовка к работе**

1. Изучить принцип работы токовой направленной защиты нулевой последовательности линий. Рекомендуемая литература [1–4].

2. Ознакомиться с основными положениями расчетов уставок токовых направленных защит нулевой последовательности. Рекомендуемая литература [5, 7, 8].

3. Выполнить расчет уставок дистанционной защиты одиночной линии 110 кВ. Рекомендуемая методика расчета приводится на практических занятиях.

**Краткие пояснения к работе**

В сети с глухозаземленной нейтралью замыкание фазы линии на землю вызывает протекание токов к.з., следовательно, поврежденную линию необходимо по возможности быстро отключить. При к.з. на землю возникают токи и напряжения нулевой последовательности, которые и используются для функционирования защиты. Для защиты линии от к.з. на землю применяются, как правило, токовые защиты нулевой последовательности со ступенчатой характеристикой выдержки времени. В качестве первых ступеней защит используются токовые отсечки нулевой последовательности без выдержки и с выдержкой времени.

Когда токи нулевой последовательности при к.з. на землю протекают только с одной стороны линии, что может иметь место в радиальной сети при отсутствии заземленных нейтралей у трансформаторов приемных подстанций, защита выполняется ненаправленной. В противном случае токовая защита нулевой последовательности с целью повышения ее чувствительности может быть дополнена органом направления мощности ну-

левой последовательности, что дает ей название токовой направленной защиты нулевой последовательности (ТНЗНП).

Реле тока всех ступеней защиты включаются на сумму токов трех фаз, что обеспечивает протекание по ним тока нулевой последовательности при однофазных и двухфазных к.з. на землю. Для защиты высоковольтных линий 110–330 кВ шкаф ШДЭ 2802 используется в качестве единственного комплекта защит, когда нет основной быстродействующей защиты, и обеспечивает дальнее и ближнее резервирование одновременно. При наличии основной быстродействующей защиты устанавливается шкаф ШДЭ 2801. Шкаф ШДЭ 2802 содержит основной и резервный комплекты (рис. 11.1). Основной комплект (по составу – ШДЭ 2801) содержит: трехступенчатую дистанционную (3Z) направленную ( $\rightarrow$ ) защиту с блокировками при качаниях и неисправностях цепей напряжения, токовую отсекку (А), четырехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности ( $4A_0$ ). Резервный комплект содержит двухступенчатую дистанционную (2Z) направленную защиту и двухступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности ( $2A_0$ ).

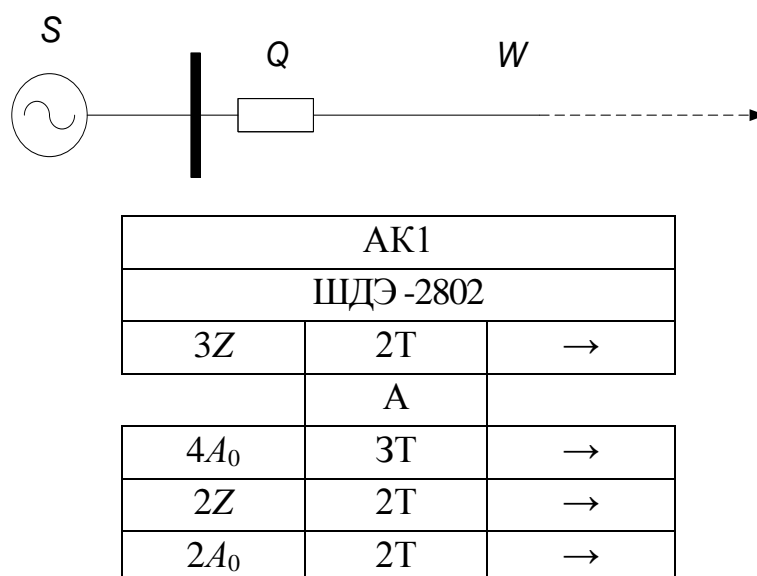


Рисунок 11.1 – Объемы релейной защиты линии

Важным преимуществом защиты нулевой последовательности является то, что она не реагирует на нагрузку. Благодаря этому ее не требуется отстраивать от токов нормального режима и перегрузок, что позволяет обеспечить высокую чувствительность этой защиты по сравнению с защи-

тами, реагирующими на фазные токи.

Однако в действительности работа защиты осложняется погрешностью трансформаторов тока, обусловленной их током намагничивания.

Поэтому в режимах, когда имеет место баланс первичных токов ( $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ ), сумма вторичных токов  $\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c \neq 0$ . В нулевом проводе и пусковом реле защиты появляется остаточный ток, называемый током небаланса ( $I_{\dot{I}_a}$ ), который может вызвать нежелательное действие защиты при отсутствии тока  $I_0$ .

Ток срабатывания I ступени выбирается по условиям отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в защите:

- при замыкании на землю на шинах противоположной подстанции;
- в неполнофазном кратковременном режиме при одновременном включении фаз выключателя;
- в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на линии.

Ток срабатывания II ступени выбирается по условиям:

- отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в защите при замыкании на землю за автотрансформатором предыдущей подстанции (на стороне смежного напряжения);
- согласования с I ступенью защиты предыдущей линии или защиты от замыканий на землю, установленной на стороне смежного напряжения автотрансформатора предыдущей ПС;
- отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в защите в неполнофазном режиме в цикле ОАПВ на защищаемой или предыдущей линии, а также в длительном неполнофазном режиме на предыдущей линии.

Ток срабатывания III ступени выбирается по условию согласования с защитой предыдущей линии или автотрансформатора, установленной на стороне смежного напряжения, и по условию отстройки от утроенного тока нулевой последовательности в защите в неполнофазных режимах.

Ток срабатывания IV ступени отстраивается от тока небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока при трехфазных к.з. за трансформаторами и на стороне НН автотрансформаторов.

Направленность ступеней защиты обеспечивается органом направления мощности (ОНМ), содержащим разрешающее и блокирующее реле

мощности. Отстройка первичных тока и напряжения срабатывания от небалансов при качаниях, асинхронном ходе и несинхронных включениях необходима, если токи срабатывания реле тока соответствующих ступеней не отстроены от этих небалансов или эти ступени не отстроены по выдержкам времени от указанных режимов.

Для повышения надежности срабатывания защиты целесообразно хотя бы одну из ступеней, охватывающую с достаточным запасом чувствительности всю линию, выполнить ненаправленной и направленной с использованием «блокирующего» реле.

Благодаря наличию трансформаторов с заземленными нейтральями на каждой подстанции сети 110–500 кВ, являющихся источником тока нулевой последовательности, имеется широкая возможность применения отсечек нулевой последовательности, а вместе с тем и многоступенчатых защит нулевой последовательности практически на всех линиях средней и большой протяженности.

В энергосистемах защита нулевой последовательности получила весьма широкое распространение в сетях 110–500 кВ, положительными качествами защиты являются простота схемы и высокая надежность, что подтверждается опытом эксплуатации.

Выставление уставок защиты строго регламентируется соответствующими инструкциями по эксплуатации. Так, например, для защиты типа ШДЭ [5] уставки выставляются в соответствии с формулами и обозначениями, приведенными на лицевых платах блоков, при помощи переключающих устройств.

Формула для определения уставок органов тока, направления мощности и выдержки времени имеет вид

$$E = E_0 \cdot (1 + \sum \theta),$$

где  $E$  – расчетная уставка;  $E_0$  – заданная константа;  $\sum \theta$  – сумма, определяемая положениями переключателей уставок.

При вычислении этой суммы учитываются значения величин, указанные только у тех переключателей, которые находятся в выступающем положении. Значения величин у переключателей обычно образуют конечную геометрическую прогрессию со знаменателем 2.

Исправность измерительных органов токовой направленной защиты нулевой последовательности проверяется путем подведения к шкафу диа-

гностических сигналов от внешнего источника питания (например, от испытательной установки У5053 или «РЗА-ТЕСТЕР»), соответствующих различным видам повреждений.

При проведении проверок необходимо учитывать следующие моменты.

Проверка чувствительности пускового органа блокировки при качаниях производится при подаче толчком тока фазы  $A$  от 0 до выставленного значения тока срабатывания. Проверка параметров срабатывания органов тока осуществляется путем плавного увеличения входного тока при имитации однофазного короткого замыкания фазы  $A$ . Проверка устройства блокировки при неисправностях в цепях напряжения переменного тока производится по однофазной схеме имитацией обрыва фазы  $AO$  «звезды».

При проверке органа направления мощности выставляются номинальные значения входных тока и напряжения и методом засечек определяют угол максимальной чувствительности. Выставив угол максимальной чувствительности при номинальном значении напряжения, определяют ток срабатывания реле органа направления мощности, а при номинальном значении тока – напряжение срабатывания. При тройном значении тока срабатывания и тройном значении напряжении срабатывания методом засечек определяют зону работы реле органа направления мощности. Напряжение срабатывания органа выявления неисправностей в цепях напряжения нулевой последовательности проверяют на частоте третьей гармонике.

Проверка логических частей защиты проводится посредством подачи на входы защиты токов и напряжений, имитирующих аварийные режимы одофазного короткого замыкания на землю защищаемого объекта. Для проверки ускоряемых ступеней защит накладываются перемычки, которые имитируют замыкание внешних контактов, обеспечивающих действие цепей ускорения. Контроль исправностей защит осуществляется по состоянию их элементов индикации и выходных реле, а также измерением времени срабатывания ступеней, которые при отсутствии дефектов должны превышать заданные уровни уставки не более чем на 0,05 с.

При проверке функционирования ступеней, ускоряемых при включении высоковольтной линии (ВЛ), измеряются и времена их возврата после исчезновения сигнала о включении ВЛ.

При тестовом контроле (ТК) защиты обнаружение неисправностей осуществляется с точностью до сменного блока. При проведении проверки

необходимо блок ТК проверяемой защиты переставить из рабочего положения (= А3 + Е10) в положение контроля (= А3 + Е11), что обеспечивает снятие напряжения питания с обмоток промежуточных выходных реле защиты, исключая их срабатывание при ТК, а также вызывает разрыв цепи звуковой сигнализации и свечение лампы HLW1 «Неисправность» в течение всего времени проведения ТК.

Формирование тестовых воздействий на аппаратуру шкафа защит происходит при нажатии на переключатели, расположенные в блоках ТК. Когда блок ТК находится в рабочем положении, то указанные переключатели отключены от внешних цепей и нажатие на них никакого воздействия на защиты не оказывает. При ТК промежуточные трансформаторы шкафа не проверяются (вследствие их сравнительно высокой надежности), поэтому при контроле защиты не отключаются от внешних измерительных трансформаторов, что позволяет существенно сократить количество переключений, связанных с проведением ТК.

Для осуществления ТК защиты шкафы снабжены соответствующими автоматическими дешифраторами, которые на основании анализа реакций защит на диагностические воздействия сигнализируют о наличии в них дефектов. После срабатывания дешифраторов дефектное место с точностью до сменного блока определяется по состоянию светодиодов, расположенных на лицевых платах блоков.

Ниже приведен пример выбора уставок токовой направленной защиты нулевой последовательности (ТНЗНП) высоковольтной линии ВЛ 110 кВ при следующих исходных данных (рис.11.2):

- высоковольтная линия ВЛ 110 кВ одноцепная со стальным грозозащитным тросом:

$$x_{0Л} = 3 \cdot x_{1Л}; l_2 = 10 \text{ км}; l_1 = 20 \text{ км};$$

- силовые трансформаторы Т1 и Т2:

$$S_{T1} = S_{T2} = 10 \text{ МВА}; x_{0T1} = x_{1T1}; \Delta U_{PНН} = \pm 16\%; U_K = 10\% .$$

Трансформатор Т2 – нейтраль разземлена. Для расчета токов при коротких замыканиях составляем схемы замещения прямой (обратной) и нулевой последовательностей (рис.11.3,11.4). Сопротивления питающей системы до шин подстанции А (ПСА) указаны в исходных данных и показаны на рисунке в виде дроби в максимальном и минимальном режимах работы энергосистемы.



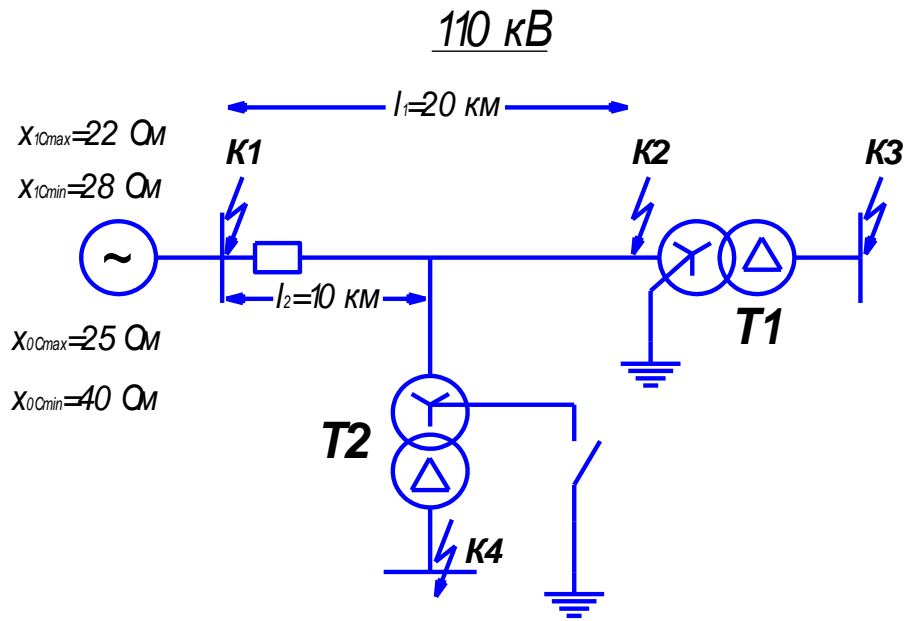


Рисунок 11.2 – Расчетная схема электрической сети

Сопротивление ВЛ 110 кВ:

$$x_{1Л1} = x_{уд} \cdot l_1 = 0,4 \cdot 20 = 8 \text{ Ом};$$

$$x_{1Л2} = x_{уд} \cdot l_2 = 0,4 \cdot 10 = 4 \text{ Ом};$$

$$x_{0Л1} = 3 \cdot x_{1Л1} = 3 \cdot 8 = 24 \text{ Ом};$$

$$x_{0Л2} = 3 \cdot x_{1Л2} = 3 \cdot 4 = 12 \text{ Ом}.$$

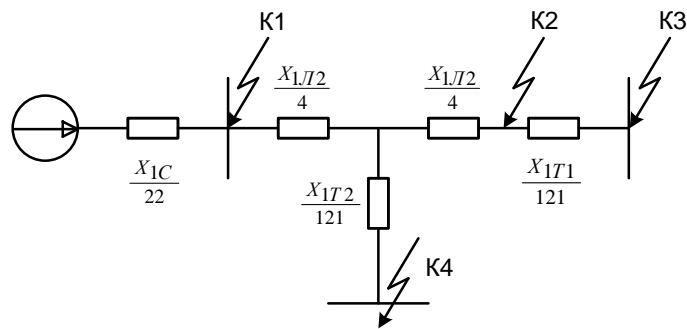


Рисунок 11.3 – Схема замещения прямой (обратной) последовательности

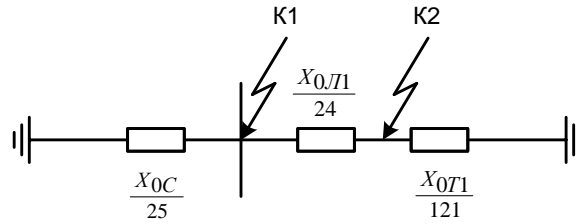


Рисунок 11.4 – Схема замещения нулевой последовательности  
 Параметры трансформаторов:

$$\tilde{\sigma}_{1\dot{0}1,2} = \frac{U_{\hat{e}}}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{T1}} = 0,1 \cdot \frac{110^2}{10} = 121 \hat{\text{H}} \hat{\text{H}} ,$$

$$\tilde{\sigma}_{0\dot{0}1,2} = 121 \hat{\text{H}} \hat{\text{H}} .$$

Рассчитаем токи при различных коротких замыканиях в точке К1.  
 Эквивалентное сопротивление нулевой последовательности

$$\tilde{\sigma}_{0\dot{E}1} = \frac{\tilde{\sigma}_{0\dot{N}} \cdot (\tilde{\sigma}_{0\dot{E}1} + \tilde{\sigma}_{0\dot{O}1})}{\tilde{\sigma}_{0\dot{N}} + \tilde{\sigma}_{0\dot{E}1} + \tilde{\sigma}_{0\dot{O}1}} = \frac{25(24 + 121)}{25 + 24 + 121} = 21,3 \hat{\text{H}} \hat{\text{H}} .$$

Ток однофазного короткого замыкания

$$3I_{0K1}^{(1)} = \frac{3U_{\hat{0}}}{\tilde{\sigma}_1 + \tilde{\sigma}_2 + \tilde{\sigma}_0} = \frac{3 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3}(22 + 22 + 21,3)} = 2920 \hat{\text{A}} .$$

Токораспределение при однофазном коротком замыкании (рис.11.5):

- ток со стороны системы

$$3I_{0C} = 3I_{0K1}^{(1)} \cdot \frac{\tilde{\sigma}_{\hat{Y}}}{\tilde{\sigma}_{0\dot{N}}} = 2920 \cdot \frac{21,3}{25} = 2482 \hat{\text{A}} ;$$

- ток со стороны ВЛ

$$3I_{0\dot{E}} = 3I_{0K1}^{(1)} \cdot \frac{\tilde{\sigma}_{\hat{Y}}}{\tilde{\sigma}_{0\dot{E}1} + \tilde{\sigma}_{0\dot{O}1}} = 2920 \cdot \frac{21,3}{24 + 121} = 438 \hat{\text{A}} .$$

Ток двухфазного короткого замыкания на землю:

$$3I_{0K1}^{(1,1)} = \frac{3U_{\hat{0}}}{\tilde{\sigma}_1 + 2\tilde{\sigma}_0} = \frac{3 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3}(22 + 2 \cdot 21,3)} = 2953 \hat{\text{A}} .$$

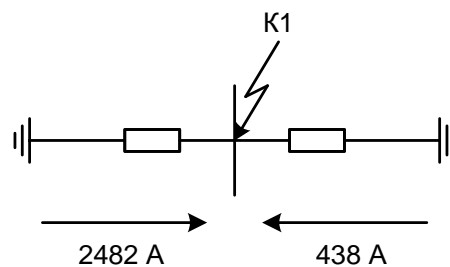


Рисунок 11.5 – Токораспределение при однофазном коротком замыкании

Токораспределение при двухфазном коротком замыкании на землю (рис.11.6):

- ток со стороны системы

$$3I_{0C} = 3I_{0K1}^{(1,1)} \cdot \frac{\tilde{\sigma}_{\dot{Y}}}{\tilde{\sigma}_{0\dot{N}}} = 2953 \cdot \frac{21,3}{25} = 2510 \text{ A};$$

- ток со стороны ВЛ

$$3I_{0\dot{E}} = 3I_{0K1}^{(1,1)} \cdot \frac{\tilde{\sigma}_{\dot{Y}}}{\tilde{\sigma}_{0\dot{E}1} + \tilde{\sigma}_{0\dot{O}1}} = 2953 \cdot \frac{21,3}{24 + 121} = 443 \text{ A}.$$

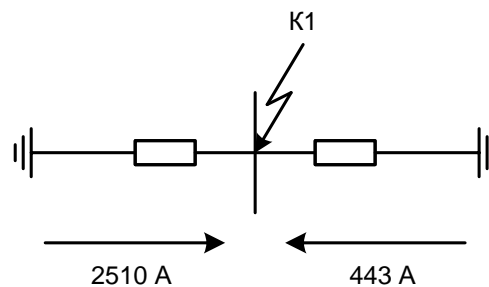


Рисунок 11.6 – Токораспределение при двухфазном коротком замыкании на землю

Ток трехфазного короткого замыкания

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \tilde{\sigma}_{1\dot{N}}} = \frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22} = 2890 \text{ A}.$$

Ток двухфазного короткого замыкания

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\dot{O}}}{\tilde{\sigma}_1 + \tilde{\sigma}_2} = \frac{110 \cdot 10^3}{44} = 2500 \text{ A}.$$

*Для сравнения.*

Если нейтраль трансформатора Т2 заземлена, то:

$$3I_{0K1}^{(1)} = \frac{3 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3}(22 + 22 + 18,8)} = 3040 \text{ A};$$

$$3I_{0K1}^{(1,1)} = \frac{3U_{\dot{O}}}{\tilde{\sigma}_1 + 2\tilde{\sigma}_0} = \frac{3 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3}(22 + 2 \cdot 18,8)} = 3200 \text{ A}.$$

Результаты расчетов токов короткого замыкания приведены в табл.11.1.

Таблица 11.1 – Результаты расчетов токов короткого замыкания

Точка К1	$I^{(3)}, \text{A}$	$I^{(2)}, \text{A}$	$I^{(1)}, \text{A}$	$I^{(1,1)}, \text{A}$
Токи	2890	2500	2920 2482→ 438←	2953 2510→ 443←
Точка К2	$I^{(3)}, \text{A}$	$I^{(2)}, \text{A}$	$I^{(1)}, \text{A}$	$I^{(1,1)}, \text{A}$
Токи	2117	1833	2010 143→ 579←	1910 1359→ 551←

Расчет токов при различных коротких замыканиях в точке К4 (на шинах 6 кВ).

Ток трехфазного короткого замыкания

$$I_{K4}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (\tilde{\sigma}_{1\tilde{N}} + \tilde{\sigma}_{1\tilde{E}2} + \tilde{\sigma}_{1\tilde{O}2})} = \frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (22 + 4 + 121)} = 432 \text{ A}.$$

Ток двухфазного короткого замыкания

$$I_{K4}^{(2)} = I_{K4}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 374 \text{ A}.$$

**Расчет токов при различных видах коротких замыканиях в точке К3 (на шинах 10 кВ).**

Ток трехфазного короткого замыкания

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (\tilde{\sigma}_{1\tilde{N}} + \tilde{\sigma}_{1\tilde{E}1} + \tilde{\sigma}_{1\tilde{O}1})} = \frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (22 + 8 + 121)} = 421 \text{ A}.$$

Ток двухфазного короткого замыкания

$$I_{K3}^{(2)} = I_{K3}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 364 \text{ A}.$$

Выбор уставок токовой направленной защиты нулевой последовательности (ТНЗНП) высоковольтной линии ВЛ 110 кВ. В качестве первой ступени максимальной токовой защиты нулевой последовательности принимается токовая отсечка нулевой последовательности без выдержки времени. Токовое реле защиты включается в нулевой провод полной звезды трансформаторов тока линии и реагирует на появление неуравновешенных составляющих – составляющих нулевой последовательности.

Для обеспечения селективности ток срабатывания ненаправленной отсечки без выдержки времени отстраивается от наибольшего значения тока  $3I_0$  при внешнем коротком замыкании на землю. Таковым является

двухфазное короткое замыкание на землю в точке К1 за спиной:

$$I_0^I \geq k_H \cdot 3I_{OK1}^{(1,1)} = 1,3 \cdot 443 = 576 \text{ A},$$

где  $k_H$  – коэффициент надежности, равный  $k_H=1,3$ .

Коэффициент чувствительности отсечки определяется при коротком замыкании на землю в конце защищаемой тупиковой линии (точка К2). Таковым является двухфазное короткое замыкание на землю:

$$k_x^I = \frac{3I_{OK2\min}^{(1,1)}}{I_0^I} = \frac{1359}{576} = 2,36 > 2,$$

что указывает на эффективность отсечки, защищающей всю линию.

Определим коэффициент чувствительности отсечки при повреждениях в начале защищаемой линии (точка К1)

$$k_x^I = \frac{3I_{OK1\min}^{(1)}}{I_0^I} = \frac{2482}{576} = 4,3.$$

В качестве второй ступени принимается максимальная направленная токовая защита нулевой последовательности с выдержкой времени. Для тупиковой линии выдержка времени для второй ступени принимается 0,5 с.

Ток срабатывания ступени должен быть отстроен от тока небаланса в нулевом проводе схемы соединения трансформаторов тока в полную звезду при внешних замыканиях между фазами. Для данной линии – при ближайшем трехфазном коротком замыкании за трансформатором Т2 (точка К4):

$$I_0^{II} = k_H \cdot k_{i\ \dot{A}B} \cdot k_{i\ \dot{a}} \cdot I_{\dot{a}\dot{a}\dot{b}\dot{c}} = 1,25 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 432 = 54 \text{ A},$$

где  $k_H$  – коэффициент надежной отстройки,  $k_H=1,25$ ;  $k_{i\ \dot{A}B}$  – коэффициент учитывающий переходный режим, для выдержки времени 0,5 с принимается равным  $k_{i\ \dot{A}B} = 1$ ;  $k_{i\ \dot{a}}$  – коэффициент небаланса,  $k_{i\ \dot{a}} = 0,1$ ;  $I_{\dot{a}\dot{a}\dot{b}\dot{c}}$  – максимальное значение тока при ближайшем внешнем трехфазном коротком замыкании,  $I_{\dot{a}\dot{a}\dot{b}\dot{c}} = I_{K4}^{(3)}$ .

Чувствительность второй ступени к минимальному току короткого замыкания на землю, каковым по расчетам является ток двухфазного короткого замыкания на землю в конце защищаемой линии (точка К2), при минимальном режиме работы энергосистемы

$$k_x^{II} = \frac{3I_{OK2\min}^{(1,1)}}{I_0^{II}} = \frac{1359}{54} = 25.$$

## Порядок выполнения работы

1. Выполнить расчет параметров защиты (исходные данные выдаются преподавателем).

2. Ознакомиться с расположением блоков в шкафу защит типа ШДЭ.

3. Собрать входные цепи переменного и постоянного тока.

4. Выставить уставки защиты.

5. Выполнить проверку измерительных органов защиты.

6. Выполнить проверку логических частей защиты.

7. Провести тестовый контроль блоков защиты в такой последовательности:

7.1. Блок ТК ТЗ<sub>0</sub> И101 переставить из рабочего положения (= А3 + Е10) в положение контроля (= А3 + Е11).

7.2. Визуально проконтролировать состояние индикаторов токовой защиты, при отсутствии дефектов все индикаторы ТЗ<sub>0</sub> сигнализируют о состоянии несрабатывания.

7.3. Нажать на переключатель SA1 «Тест 1» (= А3 + Е11). Должны произойти следующие события при отсутствии неисправностей:

✓ должны сработать все ступени ТЗНП, МТЗ и устройство функционального контроля (ФК), обнаруживающее ложные срабатывания органов ТЗНП. Последнее обусловлено тем, что при проведении ТК длительность пребывания органов ТЗНП в состоянии срабатывания не ограничивается;

✓ в ТЗНП срабатывание I ступени должно произойти раньше, чем срабатывание II ступени. МТО должна сработать раньше, чем ТЗНП;

✓ устройства ФК, обнаруживающие отказы срабатывания и излишние срабатывания измерительных органов ТЗНП, а также блокирующее реле ОНМ, должны оставаться в несрабатывающем состоянии.

При возникновении несоответствия в очередности срабатывания ступеней ТЗНП начинает светиться светодиод «Неиспр<sub>д</sub>». Уточнение места неисправности осуществляется при помощи элементов индикации измерительных органов и ступеней ТЗНП.

Отсутствие в течение времени, превышающего 15 с с момента нажатия переключателя, срабатывания одного из светодиодов «Испр<sub>д</sub>» или «Неиспр<sub>д</sub>» свидетельствует либо о неисправном устройстве функционального контроля ТЗНП, либо о неисправности блока ТК ТЗНП И103 или це-

пей тестового контроля.

Произвести возврат переключателя SA1 «Тест 1» (= A3 + E11) и выполнить съём сигнализации путем нажатия кнопки "Съём сигнализации", расположенной на дверце шкафа.

7.4. Нажать на переключатель SA2 «Тест 2» (= A3 + E11) и на переключатель SA1 «Тест 1» (= A3 + E11). В результате выполненных переключений сигналы, поступающие на диагностические входы каналов ОНМ, находятся в противофазе, что обеспечивает условия для срабатывания блокирующего реле и исключает условия для срабатывания разрешающего реле.

7.5. Осуществить анализ реакций токовых защит на тест 2. Указанный анализ проводится без использования автоматического дешифратора посредством светодиодов, сигнализирующих о срабатывании измерительных органов и ступеней ТЗНП. При отсутствии дефектов разрешающее реле ОНМ должно находиться в несработавшем состоянии, а блокирующее реле – в сработавшем. Нарушение свидетельствует о неисправности ОНМ.

7.6. Произвести возврат переключателей SA1 и SA2 («Тесты 1 и 2»).

7.7. Переставить блок ТК из положения контроля (= A3 + E11) в рабочее положение (= A3 + E10). При этом перестает светиться лампа HLW1 и подается питание на обмотки выходных реле.

Тестовый контроль токовой направленной защиты нулевой последовательности считается законченным.

8. На основании проведенной экспериментальной проверки исправности токовой направленной защиты нулевой последовательности защиты сделать выводы.

### **Содержание отчета**

1. Краткое описание работы.
2. Расчеты уставок токовой направленной защиты нулевой последовательности (ТЗНП) высоковольтной линии .
3. Результаты проверки измерительных органов защиты.
4. Результаты проверки логических частей защиты.
5. Результаты тестового контроля блоков защиты.
6. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какой принцип действия положен в основу токовой направленной защиты нулевой последовательности?
2. Из каких органов состоит четырехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности?
3. Как выбираются уставки ступеней токовой направленной защиты нулевой последовательности?
4. Как выбираются выдержки времени четырехступенчатой токовой направленной защиты нулевой последовательности?
5. Какие преимущества имеют защиты нулевой последовательности по сравнению с защитами прямой последовательности?
6. Какие исходные данные необходимо иметь для расчетов токовой направленной защиты нулевой последовательности линии?
7. Как выполняется проверка чувствительности токовой направленной защиты нулевой последовательности?
8. Как выполняется селективность всех ступеней токовой направленной защиты нулевой последовательности?

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА РЗ – 12 ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХСТУПЕНЧАТОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ**

*Цель работы:* на примере шкафа дистанционной и токовой защиты типа ШДЭ 2802 изучить принципы действия трехступенчатой дистанционной защиты линий 110 – 330 кВ с двухсторонним питанием, а также приобрести практические навыки расчетов и выставления уставок, проверки исправности защиты и блоков питания.

#### **Подготовка к работе**

1. Изучить принципы работы дистанционных защиты линий. Рекомендуемая литература [1–3].
2. Изучить характеристики в комплексной форме для дистанционных защит линий 110–330 кВ. Рекомендуемая литература [5].
3. Ознакомиться с основными положениями расчетов уставок дистанционных защит. Рекомендуемая литература [7,8].



4. Выполнить расчет уставок дистанционной защиты одиночной линии 330 кВ с двухсторонним питанием. Рекомендуемая методика расчета приводится на практических занятиях.

### Краткие пояснения к работе

Дистанционными называются защиты [1, 2, 3, 5] с относительной селективностью, выполняемые с использованием измерительных органов сопротивления, благодаря которым выдержка времени защиты автоматически изменяется в зависимости от удаленности места к.з. Для защиты высоковольтных линий 110–330 кВ шкаф ШДЭ 2802 используется в качестве единственного комплекта защит, когда нет основной быстродействующей защиты, и обеспечивает дальнее и ближнее резервирование одновременно. При наличии основной быстродействующей защиты устанавливается шкаф ШДЭ 2801. Шкаф ШДЭ 2802 содержит основной и резервный комплекты. Основной комплект содержит: трехступенчатую дистанционную (3Z) направленную ( $\rightarrow$ ) защиту с блокировками при качаниях и неисправностях цепей напряжения, токовую отсечку (A), четырехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности ( $4A_0$ ). Резервный комплект содержит двухступенчатую дистанционную (2Z) направленную защиту и двухступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности ( $2A_0$ ). Измерительные органы каждой ступени дистанционной защиты имеют три реле сопротивления KZ, включенные на разность фазных токов и междуфазные напряжения (возможно включение на напряжение относительно нулевой точки системы) [7].

Характеристики срабатывания реле сопротивления (РС) дистанционной защиты линий 110 – 330 кВ представлены на рис. 12.1, 12.2 и 12.3.

Характеристика срабатывания реле сопротивления первой ступени (см. рис. 12.1) имеет форму, близкую к окружности, проходящей через особые точки  $Z1$ ,  $Z2$ ,  $Z3$  и через начало координат. Окружность составлена из трех дуг, опирающихся на хорды  $Z1-Z2$ ,  $Z2-Z3$ ,  $Z3-Z1$ . Угол максимальной чувствительности реле ( $\varphi_{м.ч}$ ) составляет  $75^\circ$ .

Характеристика срабатывания реле сопротивления второй ступени (рис.12.2) – четырехугольник с вершинами  $Z1$ ,  $Z2$ ,  $Z3$ ,  $Z4$ , охватывающий начало координат, и со смещением в III квадрант. Предусмотрено две ступени регулирования наклона правой боковой стороны четырехугольника  $Z1-Z4$  на  $0,15$  и  $0,3 Z_{уст}$  по оси  $R$ . Угол максимальной чувствительности равен  $75^\circ$ .

Характеристика срабатывания реле сопротивления третьей ступени по-

казана на рис. 12.3 – треугольник с вершинами  $Z_1$ ,  $Z_2$  и  $Z_3$ . Последняя вершина совпадает с началом координат. Предусмотрены две ступени регулирования наклона правой боковой стороны  $Z_1$ – $Z_3$ , проходящий через начало координат под углом  $\gamma = 35^\circ$  или  $\gamma = 47^\circ$  к оси  $R$ .

Реле сопротивления I и III ступеней имеют общий блок памяти, обеспечивающий правильную работу защиты при близких к.з.

Сопротивление срабатывания реле сопротивления  $Z_{уст}$  каждой из ступеней задается при угле между напряжением и током, равным  $75^\circ$ , который условно назван углом максимальной чувствительности.

Ниже приведен пример выбора параметров срабатывания и проверка чувствительности измерительных органов сопротивления. Выбор выдержек времени ступеней защит производится по общим правилам многоступенчатых защит.

Так, например, для трехступенчатых защит первая ступень выполняется без выдержки времени (дистанционная отсечка), вторая ступень – с выдержкой времени, равной сумме времен действия УРОВ (устройства резервирования при отказе выключателей), максимального времени действия первых ступеней предыдущих защит и ступени селективности, т.е.

$$t'' \geq t_{\text{уров}} + t'_{\text{пред max}} + \Delta t. \quad (12.1)$$

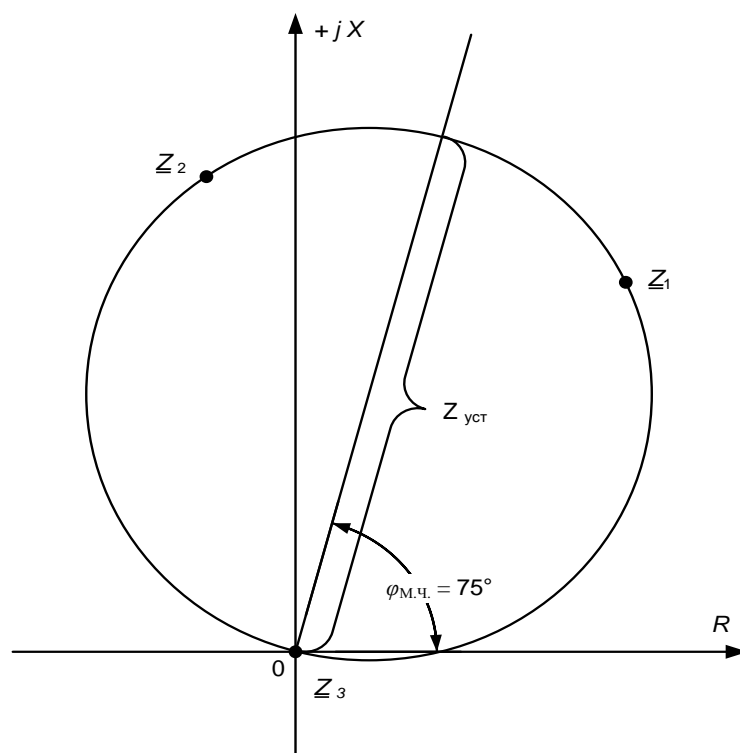


Рисунок 12.1 – Характеристика срабатывания I степени защиты

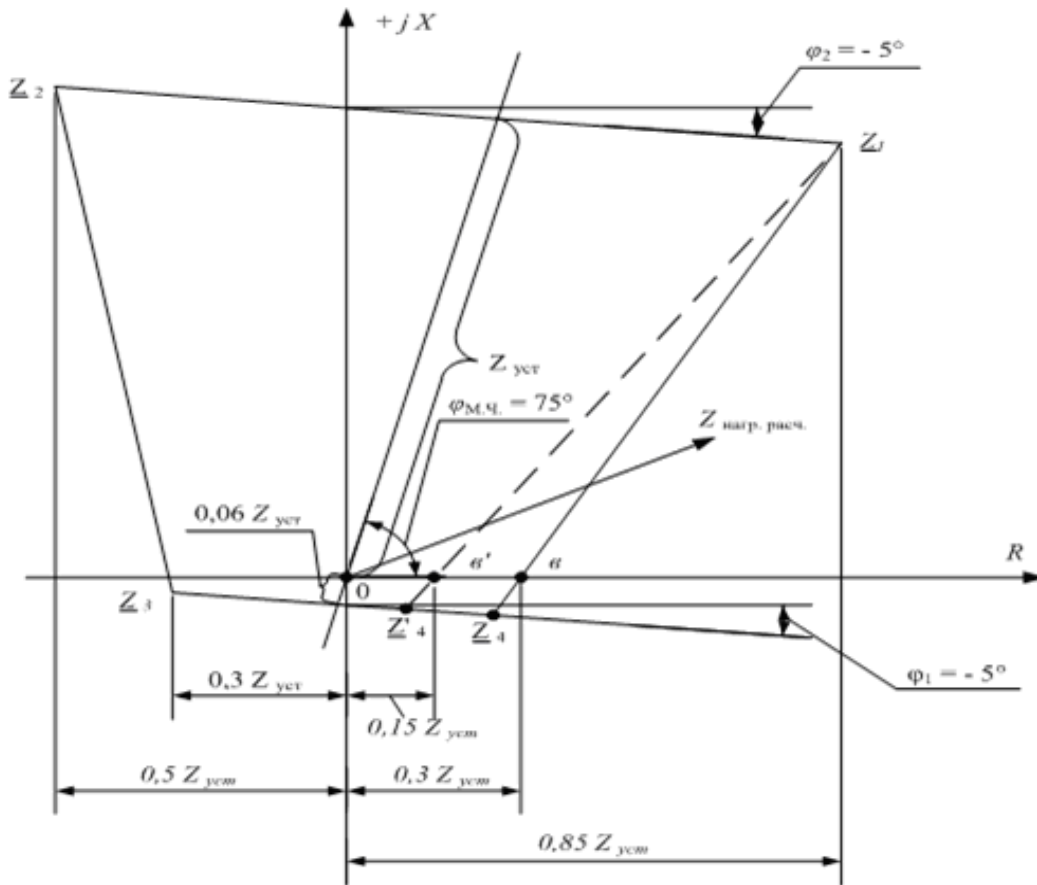
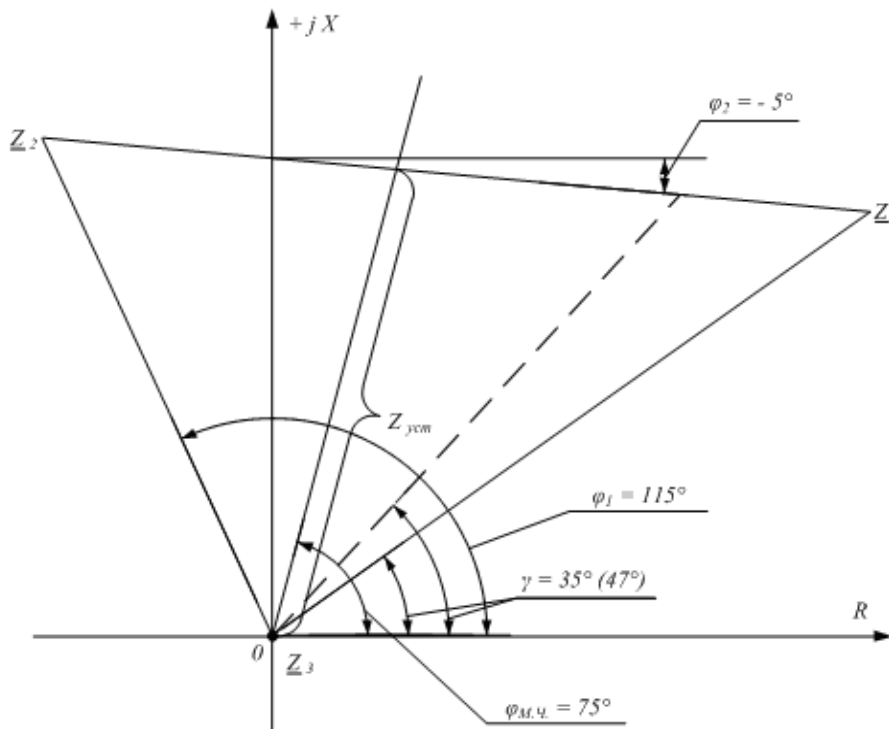


Рисунок 12.2 – Характеристика срабатывания II степени защиты



### Рисунок 12.3 – Характеристика срабатывания III степени защиты

Третья степень выполняется с выдержкой времени, выбираемой в общем случае по встречно-ступенчатому принципу:

$$t''' \geq t''_{\text{дв.мак}} + \Delta t, \quad (12.2)$$

где  $t''_{\text{дв.мак}}$  – максимальная выдержка времени третьей степени предыдущих (смежных) защит.

Первичное сопротивление срабатывания первой степени  $Z'_{\text{НЦ1}}$  защиты выбирается из условия отстройки от металлического к.з. на шинах подстанции, примыкающей к противоположному концу линии:

$$Z'_{\text{НЦ1}} \leq \frac{Z_{\text{Э1}}}{K_{\text{дн}}}, \quad (12.3)$$

где  $Z_{\text{Э1}}$  – сопротивление защищаемой линии;  $K_{\text{дн}}$  – коэффициент отстройки, учитывает погрешности реле, трансформаторов напряжения в сторону увеличения защищаемой зоны, неточность расчета электрических величин и необходимый запас, принимается равным 1,15.

Первичное сопротивление срабатывания второй степени защиты  $Z''_{\text{НЦ1}}$  принимается меньшим из полученных по следующим условиям.

Согласование с первой степенью защиты предыдущей линии:

$$Z''_{\text{НЦ1}} \leq \frac{1}{K_{\text{дн}}} \cdot \left( Z_{\text{Э1}} + \frac{0,9}{\hat{E}_{\text{дн.э}}} \cdot Z'_{\text{НЦ1.дв.э}} \right) \cdot d, \quad (12.4)$$

где  $\hat{E}_{\text{дн.э}}$  – коэффициент токораспределения, равный отношению первичного тока в месте установки защиты к току в предыдущей линии в таких реально возможных режимах, которые соответствуют максимальному значению рассматриваемого коэффициента токораспределения;  $Z'_{\text{СЗ.пред}}$  – первичное сопротивление срабатывания первой степени защиты предыдущей линии;  $d = 1 / \cos(\varphi_{1.\times} - \varphi_{\text{с}})$  – коэффициент, учитывающий отличие угла сопротивления  $\varphi_{\text{с}}$  в месте установки защиты (угла защиты) от угла максимальной чувствительности  $\varphi_{\text{м.ч.}}$ .

Отстройка от к.з. на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу линии:

$$Z_{\text{НЦ1}}'' \leq \frac{1}{K_{\text{р.д.д}}} \cdot \left( Z_{\text{Э1}} + \frac{Z_{\text{T}}}{K_{\text{р.д.д}}} \right) \cdot d, \quad (12.5)$$

где  $Z_{\text{T}}$  – минимально возможное сопротивление обмоток параллельно работающих трансформаторов (автотрансформаторов) с учетом регулирования напряжения;  $K_{\text{р.д.д}}$  – коэффициент токораспределения, равный отношению первичного тока в месте установки защиты к току в трансформаторе (автотрансформаторе) при к.з. на шинах низшего (среднего) напряжения противоположной подстанции.

Если предыдущий участок состоит из двух параллельных линий, то выражение (12.4) принимает вид:

$$Z_{\text{НЦ1}}'' \leq \frac{1}{K_{\text{р.д.д}}} \cdot \left( Z_{\text{Э1}} + \frac{0,5}{\hat{E}_{\text{р.д.д}}} \cdot Z_{\text{э.р.д.д}} \right) \cdot d. \quad (12.6)$$

где  $Z_{\text{э.р.д.д}}$  – предельное сопротивление линии.

Наклон правой боковой стороны характеристики срабатывания реле сопротивления второй ступени выбирается по условию отстройки от минимально возможного сопротивления  $Z_{\text{р.д.д.д.д.д}}$  в максимальном нагрузочном режиме:

$$Z_{\text{р.д.д.д.д.д}} = \frac{U_{\text{м.н}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{д.д.д.д.д.д.д}}}, \quad (12.7)$$

где  $U_{\text{м.н}}$  – минимальное значение первичного напряжения в месте установки защиты в расчетном нагрузочном режиме;  $I_{\text{д.д.д.д.д.д.д}}$  – максимальное значение первичного рабочего тока в защищаемой линии в расчетном нагрузочном режиме.

Чувствительность первой ступени защиты определяется по току точной работы

$$K_{\text{р.д.д}}' = \frac{I_{\text{ц.мин}}}{I_{\text{д.д.д}}}, \quad (12.8)$$

где  $I_{\text{ц.мин}}$  – первичный ток в месте установки защиты при к.з. между тремя фазами в расчетной точке в расчетном минимальном режиме;  $I_{\text{д.д.д}}$  – минимальный ток точной работы рассматриваемой ступени (первичный).

Ток  $I_{\text{ц.мин}}$  – допустимо определять при к.з. в конце защищаемой линии, как для второй, так и для первой ступени защиты, учитывая, что в этой точке ток к.з.

мало отличается от тока к.з. в конце защищаемой зоны первой ступени и что она является расчетной по чувствительности для второй ступени защиты. Минимальное значение коэффициента чувствительности допускается порядка 1,3.

Чувствительность второй ступени защиты определяется по выражению

$$K_{\times}^{//} = \frac{Z_{\text{НЦ1}}^{//}}{Z_3}, \quad (12.9)$$

где  $Z_{\text{НЦ1}}^{//}$  – первичное сопротивление в месте установки защиты при металлическом к.з. в конце защищаемой линии в режиме, при котором это сопротивление имеет наибольшее значение.

Если угол  $\varphi_{\text{с}}$  комплекса  $Z_3$  отличается от угла максимальной чувствительности  $\varphi_{\text{м.ч.}}$ , то

$$K_{\times}^{//} = \frac{Z_{\text{НЦ1}}^{//} \cdot \sin \varphi_{1. \div}}{Z_3 \cdot \sin \varphi_{\text{с}}}. \quad (12.10)$$

Минимальное значение коэффициента чувствительности  $K_{\times}^{//}$  в соответствии с ПУЭ допускается порядка 1,25.

При выборе параметров срабатывания третьей ступени защиты сначала рассматривается возможность отстройки от максимального нагрузочного режима по углу. Для этого угол наклона правой боковой стороны характеристики  $\gamma$  (см. рис.12.3) должен быть больше максимально возможного угла  $\varphi_{\text{нагр. расч}}$  сопротивления нагрузки в месте установки защиты в послеаварийном нагрузочном режиме с учетом самозапуска электродвигателей

$$\gamma \geq \varphi_{\text{нагр. расч}} + \varphi_{\text{доп}}, \quad (12.11)$$

где  $\varphi_{\text{доп}}$  – дополнительный угол, который должен превышать сумму погрешностей характеристики в сторону уменьшения угла наклона ее правой боковой стороны (принимается  $5^\circ$ ), погрешностей параметров нагрузочного режима, трансформаторов тока и напряжения в сторону увеличения угла вектора сопротивления, с запасом принимается  $\varphi_{\text{доп}} = 12^\circ$ .

Первичное сопротивление срабатывания третьей ступени защиты  $Z_{\text{НЦ1}}^{///}$  выбирается по следующим условиям.

Условие обеспечения требуемой чувствительности при каскадном отключении металлического к.з. в конце зоны резервирования

$$K_{\times, \text{дддд}}''' = \frac{Z_{\text{НЦ1}}''' \cdot \sin \varphi_{1, \text{д}}}{Z_{\text{С}} \cdot \sin \varphi_3}, \quad (12.12)$$

где  $K_{\times, \text{дддд}}'''$  – требуемый коэффициент чувствительности третьей ступени защиты, принимается равным 1,5;  $Z_{\text{С}}$  и  $\varphi_3$  – соответственно модуль и угол первичного сопротивления в месте установки защиты при металлическом к.з. в конце зоны резервирования.

Из выражения (12.12) определяется  $Z_{\text{НЦ1}}'''$

$$Z_{\text{НЦ1}}''' \geq K_{\times, \text{дддд}}''' \cdot Z_3 \cdot \frac{\sin \varphi_3}{\sin \varphi_{1, \text{д}}}. \quad (12.13)$$

При наличии таких нагрузочных режимов, при которых угол сопротивления нагрузки  $\varphi_{\text{нагр. расч}}$  не удовлетворяет выражению (12.11), первичное сопротивление срабатывания  $Z_{\text{СЗ1}}'''$  должно быть отстроено от значения сопротивления нагрузки  $Z_{\text{f ддд. дддд}}$  по выражению

$$Z_{\text{НЦ1}}''' \leq \frac{Z_{\text{f ддд. дддд}}}{\hat{E}_{\text{f ддд}} \cdot \hat{E}_{\text{а}}} \cdot \frac{\sin \varphi_{\text{f ддд. дддд}}}{\sin \varphi_{1, \text{д}}}, \quad (12.14)$$

где  $\hat{E}_{\text{а}}$  – коэффициент возврата реле сопротивления.

При выбранных значениях  $\hat{E}_{\text{f ддд}}$ ,  $\hat{E}_{\text{а}}$  и  $\varphi_{1, \text{д}}$  по выражению (12.14) получается

$$Z_{\text{НЦ1}}''' \leq 0,758 \cdot Z_{\text{f ддд. дддд}} \cdot \sin \varphi_{\text{f ддд. дддд}}. \quad (12.15)$$

Условие согласования со второй ступенью защиты

$$Z_{\text{НЦ1}}''' \leq \frac{1}{K_{\text{f ддд}}} \cdot \left( Z_{\text{Е1}} + \frac{0,9}{\hat{E}_{\text{оф. е. е}}} \cdot Z_{\text{НЦ1 ддд}}'' \right) \cdot d. \quad (12.16)$$

Условие согласования с третьей ступенью защиты

$$Z_{\text{НЦ1}}''' \leq \frac{1}{K_{\text{f ддд}}} \cdot \left( Z_{\text{Е1}} + \frac{0,9}{\hat{E}_{\text{оф. е. е}}} \cdot Z_{\text{НЦ1 ддд}}''' \right) \cdot d, \quad (12.17)$$

Условие согласования с дистанционной защитой предыдущего автотрансформатора (трансформатора), установленной на стороне смежного напряжения

$$Z_{\text{НЦ1}}''' \leq \frac{1}{K_{\text{f ддд}}} \cdot \left( Z_{\text{Е1}} + \frac{Z_{\text{дд}}}{\hat{E}_{\text{оф. е. дд}}} + \frac{0,9}{\hat{E}_{\text{оф. е. дд}}} \cdot Z_{\text{НЦ1 дд}}''' \right) \cdot d, \quad (12.18)$$

где  $Z_{\text{аò}}$  – сопротивление автотрансформатора;  $\hat{E}_{\text{òí.è.àò}}$  – коэффициент токораспределения, равный отношению первичного тока в месте установки защиты к току в автотрансформаторе при трехфазном к.з. на шинах среднего напряжения противоположной подстанции;  $Z_{\text{ÑÇ.àò}}$  – уставка дистанционной защиты автотрансформатора, приведенная к напряжению питающей линии.

Условие резервирования предыдущей линии

$$Z_{\text{ÑÇ}}^{\text{///}} \geq 1,2 \cdot \left( Z_{\text{È1}} + \frac{Z_{\text{è.í.òáá}}}{\hat{E}_{\text{òí.è.è}}} \right), \quad (12.19)$$

где  $\hat{E}_{\text{òí.è.è}}$  – коэффициент токораспределения линии, рассчитывается в таком реально возможном режиме, которому соответствует минимальное значение коэффициента токораспределения.

Условия резервирования защиты предыдущего автотрансформатора

$$Z_{\text{ÑÇ}}^{\text{///}} \geq 1,2 \cdot \left( Z_{\text{È1}} + \frac{Z_{\text{аò}}}{\hat{E}_{\text{òí.è.àò}}} \right). \quad (12.20)$$

Чувствительность третьей ступени защиты

$$K_{\times}^{\text{///}} = \frac{Z_{\text{ÑÇ}}^{\text{///}} \cdot \sin \varphi_{1.÷}}{Z_{\text{Ç}} \cdot \sin \varphi_3}. \quad (12.21)$$

Выставление заданных уставок по сопротивлению срабатывания ( $Z_{\text{ÑÐ}}$ ) РС I, II и III ступеней всех фаз ДЗ<sub>0</sub> осуществляется с помощью регулировочных элементов, установленных в блоках датчиков тока типов Д103, Д104, датчиков напряжения типа Д102 и в блоках датчиков тока типа Д112, датчиков напряжения типа Д113 для ДЗ<sub>р</sub>.

Минимальные уставки по сопротивлению срабатывания ( $Z_{\text{ó}}$ ) регулируются с помощью группы переключателей SB1 и SB2 «К<sub>1</sub>», установленных для РС I ступени ДЗ<sub>0</sub> в блоке датчиков тока типа Д103 (= А2 + Е13), для РС II и III ступеней ДЗ<sub>0</sub> в блоке датчиков тока типа Д104 (= А2 + Е12), для РС I и II ступеней ДЗ<sub>р</sub> в блоке датчиков тока типа Д112 (= А4 + Е20).

Ступенчатая регулировка уставок РС по цепям напряжения достигается посредством перемычек «N %», а плавная – с помощью переменных резисторов «К», установленных для ДЗ<sub>0</sub> в блоке типа Д102 (= А2 + Е7) и в блоке типа Д113 (= А4 + Е19) для ДЗ<sub>р</sub>. Для выставления заданных уставок РС I, II и III ступеней к шкафу подводят ток и напряжение от постороннего



источника (с углом между ними  $\varphi = 45^\circ$ ), соответствующие требуемой уставке, и с помощью переключателей  $SB1$  и  $SB2$  « $K_I$ », а затем перемычек « $N\%$ » и переменных резисторов « $K_U$ » находят границу срабатывания РС. Полученное положение подобранной группы переключателей будет соответствовать заданной уставке.

При помощи переключателей  $SB1$  « $\epsilon$ », установленных в блоках  $C101$  и  $C107$ , регулируется наклон правой боковой стороны характеристик РС II ступени, соответственно  $D3_0$  и  $D3_p$ . При разомкнутом положении  $SB1$   $\epsilon = 0,3$ , при замкнутом –  $\epsilon = 0,6$ .

Изменение наклона правой боковой стороны характеристики РС III ступени  $D3_0$  с  $47^\circ$  на  $35^\circ$  осуществляется посредством изъятия резисторов  $R6$  и  $R21$  с печатной платы блоков  $C101$  путем откусывания их выводов.

В зависимости от фаз тока и напряжения, на которые подключаются РС, токи и напряжения от постороннего источника подводятся к клеммам шкафа в соответствии с табл. 12.1.

Таблица 12.1 – Зажимы, на которые подаются токи и напряжения от постороннего источника

Обозначение органов	Ток подается на зажимы шкафа	Напряжение подается
РС I <sub>AB</sub> РС II <sub>AB</sub> РС III <sub>AB</sub>	$X8(I_{AH})$ и $X11(I_{BH})$ устанавливается перемычка	$X31$ и $X33$
РС I <sub>BC</sub> РС II <sub>BC</sub> РС III <sub>BC</sub>	$X11(I_{BH})$ и $X16(I_{CH})$ устанавливается перемычка	$X33$ и $X35$
РС I <sub>CA</sub> РС II <sub>CA</sub> РС III <sub>CA</sub>	$X16(I_{CH})$ и $X18(I_{AH})$ устанавливается перемычка	$X35$ и $X31$

Исправность измерительных органов защиты проверяется путем подведения к шкафу диагностических сигналов от внешнего источника питания (например, от испытательной установки У5053 или РЗА – Тестер), соответствующих различным видам повреждений. Проверка уставок и характеристик срабатывания РС производится при номинальном токе и заданном угле между током и напряжением путем плавного понижения подводимого напряжения при имитации двухфазных к.з. между фазами, на которые включаются РС.

Трехфазное к.з. имитируется при  $I_{\text{вс}} = I_{\text{нн}}$  и одновременном сбросе напряжения от 100 В до нуля. РС I ступени должно надежно работать при к.з. в месте установки ( $\varphi_{\text{кз}} = 75^\circ$ ) и не работать при к.з. «за спиной» ( $\varphi = 255^\circ$ ). Проверка логических частей защиты производится посредством подачи на входы защиты токов и напряжений, имитирующих аварийные и ненормальные режимы защищаемого объекта. Для проверки ускоряемых ступеней защит накладываются перемычки, которые имитируют замыкание внешних контактов, обеспечивающих действие цепей ускорения.

Контроль исправностей защит осуществляется по состоянию их элементов индикации и выходных реле, а также измерением времен срабатывания ступеней, которые при отсутствии дефектов должны превышать заданные уровни уставки не более чем на 0,05 с. При проверке функционирования ступеней, ускоряемых при включении высоковольтной линии (ВЛ), измеряется и время их возврата после исчезновения сигнала о включении ВЛ. Проверка функционирования ступеней защиты выполняется при имитации междуфазных к.з. подведенным толчком тока к.з. при одновременном сбросе напряжения, подводимого к РС, от номинального значения до напряжения, соответствующего  $Z = 0,6 \cdot Z_0$  при  $\varphi = 75^\circ$  (имитация двухфазного к.з.) и сбросе напряжения до нуля (имитация трехфазного к.з. в месте и установки защиты и за ней при  $\varphi = 75^\circ$  и  $\varphi = 75^\circ + 180^\circ$ ). При тестовом контроле (ТК) защиты обнаружение неисправностей осуществляется с точностью до сменного блока. При проведении проверки блок ТК дистанционной защиты И102 (= А2 + Е8, Е9) переставляется из рабочего положения (= А2 + Е8) в положение контроля (= А2 + А9), что обеспечивает снятие напряжения питания с обмоток промежуточных выходных реле защиты, исключая их срабатывание при ТК, а также вызывает разрыв цепи звуковой сигнализации и свечение лампы *HLW1* «Неисправность».

Формирование тестовых воздействий на аппаратуру шкафа защит производится при нажатии на переключатели, расположенные в блоках ТК. Когда блок ТК находится в рабочем положении (= А2 + Е8), то указанные переключатели отключены от внешних цепей и нажатие на них никаких воздействий на защиты не оказывает.

Для осуществления ТК защиты шкафа снабжены соответствующими автоматическими дешифраторами, которые на основании анализа реакций защит на диагностические воздействия сигнализируют о наличии в них

дефектов. После срабатывания дешифраторов дефектное место с точностью до сменного блока определяется по состоянию светодиодов, расположенных на лицевых платах блоков.

### Порядок выполнения работы

1. Выполнить расчет параметров защиты (исходные данные – табл.12.2, результаты расчетов – табл. 12.3).

2. Ознакомиться с расположением блоков в шкафу защит

3. Собрать входные цепи переменного и постоянного тока.

4. Выставить уставки дистанционной защиты.

5. Выполнить проверку измерительных органов защиты.

6. Выполнить проверку логических частей защиты.

7. Провести тестовый контроль блоков защиты в такой последовательности.

7.1. Блок ТК ДЗ<sub>0</sub> И102 переставить из рабочего положения (= А2 + Е8) в положение контроля (= А2 + Е9).

7.2. Визуально проконтролировать состояние индикаторов дистанционной защиты, при отсутствии дефектов все индикаторы ДЗ<sub>0</sub> сигнализируют состояние несрабатывания.

7.3. Нажать на переключатель SA1 «Тест АВ» (= А2 + Е9). Должны произойти следующие события при отсутствии в ДЗ<sub>0</sub> неисправностей:

Таблица 12.2 – Исходные данные для расчета дистанционной защиты

№ п/п	Наименование величин	Обозначение	Размерность	Значения
1	Сопротивление защищаемой ВЛ	$Z_{\text{Э}1}$	Ом	
2	Сопротивление предыдущей ВЛ	$Z_{\text{Э}1 \text{ д.д.}}$	Ом	
3	Сопротивление автотрансформатора	$Z_{\text{а}0}$	Ом	
4	Сопротивление срабатывания ступеней защиты предыдущей линии	$Z'_{\text{Н} \text{С} \text{Г} \text{ д.д.}}$ $Z''_{\text{Н} \text{С} \text{Г} \text{ д.д.}}$ $Z'''_{\text{Н} \text{С} \text{Г} \text{ д.д.}}$	Ом Ом Ом	
5	Сопротивление срабатывания защиты автотрансформатора	$Z_{\text{Н} \text{С} \text{Г} \text{ а}0}$	Ом	
6	Напряжение линии	$U_{\text{м}^3 \text{н}}$	кВ	
7	Рабочий максимальный ток линии	$I_{\text{д.д.} \text{ max}}$	А	

Таблица 12.3 – Результаты расчетов

№ п/п	Наименование величин	Обозначение	Размерность	Значения
1	Коэффициент токораспределения линии	$\hat{E}_{\text{о.в.л.}}$	Ом	
2	Коэффициент токораспределения трансформатора	$K_{\text{о.в.д.}}$	Ом	
3	Сопротивление срабатывания первой ступени	$Z_{\text{НЧ}}^I$	Ом	
4	Сопротивление срабатывания второй ступени	$Z_{\text{НЧ}}^{II}$	Ом	
5	Сопротивление срабатывания третьей ступени	$Z_{\text{НЧ}}^{III}$	Ом	
6	Чувствительность первой ступени защиты	$K_{\text{з.д.}}^I$	о.е.	
7	Чувствительность второй ступени защиты	$K_{\text{з.д.}}^{II}$	о.е.	
8	Чувствительность третьей ступени защиты	$K_{\text{з.д.}}^{III}$	о.е.	

✓ сработать измерительные органы ДЗ<sub>0</sub> – реле сопротивления всех ступеней, реагирующие на напряжение АВ, и сработать пусковой орган блокировки при качаниях ПОВ;

✓ сработать все ступени и устройства функционального контроля ФК ДЗ<sub>0</sub>;

✓ срабатывание ступеней и устройства ФК ДЗ<sub>0</sub> должно происходить в такой последовательности: I ступени без выдержки времени и II и III ускоряемых ступеней раньше, чем I ступени с выдержкой времени или II ступени с меньшей выдержкой времени; I ступени с выдержкой времени или II ступени с меньшей выдержкой времени раньше, чем II ступени с большей выдержкой времени; II ступени с большей выдержкой времени раньше, чем III ступени; III ступени раньше, чем устройства ФК.

При возникновении несоответствия в очередности срабатывания ступеней ДЗ<sub>0</sub> начинает светиться светодиод «Неиспр<sub>д</sub>». Уточнение места неисправности осуществляется при помощи элементов индикации измерительных органов и ступеней ДЗ<sub>0</sub>.

Отсутствие срабатывания в течение времени, превышающего 15 с с момента нажатия переключателя, одного из светодиодов «Испр<sub>д</sub>» или «Неиспр<sub>д</sub>» свидетельствует либо о неисправном устройстве функционального контроля ДЗ<sub>0</sub>, либо о неисправности блока ТК ДЗ<sub>0</sub> И102 или цепей тестового контроля в блоке Л103 (= А2 + Е1)

7.4. Произвести возврат переключателя SA1 «Тест АВ» (= А2 + Е9) и выполнить снятие сигнализации путем нажатия кнопки "Съем сигнализации", расположенной на двери шкафа.

7.5. Нажать на переключатель SA2 «Тест ВС», что приведет к срабатыванию РС I, II, III ступеней, реагирующих на напряжение ВС в блоке С101 (= А2 + Е5), ПОб и логической части ДЗ<sub>0</sub>. Осуществить расшифровку реакции ДЗ<sub>0</sub> на указанный тест.

7.6. Произвести возврат переключателя SA2 «Тест ВС» и снятие сигнализации.

7.7. Нажать на переключатель SA3 «Тест СА», что приведет к срабатыванию РС, реагирующих на напряжение СА в блоке С101 (= А2 + Е4), ПОб и логической части ДЗ<sub>0</sub>.

7.8. Произвести возврат переключателя SA3 «Тест СА» и снятие сигнализации.

7.9. Переставить блок ТК из положения контроля в рабочее положение (= А2 + Е8). При этом перестает светиться лампа *HLWI* и подается питание на обмотки выходных реле. Тестовый контроль ДЗ<sub>0</sub> считается законченным.

### **Содержание отчета**

1. Краткое описание работы.
2. Расчеты первой, второй и третьей ступеней защиты, а также их характеристики.
3. Результаты проверки измерительных органов защиты.
4. Результаты проверки логических частей защиты.
5. Результаты тестового контроля блоков дистанционной защиты.
6. Выводы.

## Контрольные вопросы

1. Принцип действия дистанционной защиты.
2. Из каких органов состоит трехступенчатая дистанционная защита?
3. Как выбираются уставки всех ступеней дистанционной защиты?
4. Какие виды характеристик срабатывания реле сопротивления используются в защите типа ШДЭ 2802?
5. Как выбираются выдержки времени трехступенчатой дистанционной защиты?
6. Как влияют переходные сопротивления в месте повреждения на работу дистанционной защиты?
7. Как учитываются нагрузочные режимы при выборе характеристик органов сопротивления?
8. Изобразите характеристики органов сопротивления защиты ШДЭ.
9. Какие преимущества имеют дистанционные защиты по сравнению с направленными токовыми защитами?
10. Какие исходные данные необходимо иметь для расчетов дистанционной защиты линии?
11. Как выполняется проверка чувствительности защиты?
12. Какова защитоспособность второй и третьей зон защиты?
13. Как выполняется селективность первой ступени дистанционной защиты?
14. Как выполняется селективность второй ступени дистанционной защиты?
15. С какой целью в расчетных формулах уставок дистанционной защиты вводится коэффициент токораспределения?
16. Как проверяется исправность измерительных органов защиты?
17. Как проверяются логические органы защиты ШДЭ 2802?
18. Как выполняется тестовый контроль защиты ШДЭ 2802?

### Список литературы

1. Беркович М.А. Основы техники релейной защиты / М.А. Беркович. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 376 с.
2. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учеб. для вузов. / В. А. Андреев. – М. : Высш. шк., 1991. – 496 с.
3. Чернобровов Н.В. Релейная защита энергетических систем. / Н.В. Чернобровов, В.А. Семенов. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
4. Фигурнов Е.П. Релейная защита / Е.П. Фигурнов. – М. : Желдориздат, 2002. – 720 с.
5. Электротехнический справочник : в 3т. Т3. в 2 кн. Кн. 1. Производство распределение электрической энергии / под общ. ред. проф. И.Н. Орлова (гл. ред.) и др. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 880 с.
6. Лезнов С.И. / С.И. Лезнов. Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 152 с.
7. Устройства дистанционной и токовой защит типов ШДЭ2801, ШДЭ2802 / А.Н. Бирг, Г.С. Нудельман, Э.К. Федоров и др. – М. : Энергоатомиздат, 1988 (Б-ка электромонтера; вып. 612).
8. Молчанов В.В. Панели дистанционных защит типа ПЗ-5 (ПЭ2105) / В.В. Молчанов, Е.Б. Голанцов – М. : Энергоатомиздат, 1987 (Б-ка электромонтера; вып. 605).

## Содержание

Введение.....	3
<b>1. Лабораторная работа № РЗ – 9</b>	
Устройство управления и защиты электроустановки (переменный оперативный ток).....	4
<b>2. Лабораторная работа № РЗ – 10</b>	
Устройство управления и защиты электроустановки (постоянный оперативный ток).....	11
<b>3. Лабораторная работа № РЗ – 11</b>	
Исследование многоступенчатой токовой защиты нулевой Последовательности.....	19
<b>4. Лабораторная работа № РЗ – 12</b>	
Исследование трехступенчатой дистанционной защиты.....	32
<b>Список литературы.....</b>	<b>47</b>



Навчальне видання

Методичні вказівки

до лабораторних робіт з курсу «Релейний захист»

для студентів спеціальності 7.05070106

«Системи керування виробництвом та розподілом електроенергії»

Російською мовою

Укладач БАЖЕНОВ Володимир Миколайович

Відповідальний за випуск О.Г. Гриб

Роботу рекомендував до видання Ю.М. Веприк

Редактор О.І. Шпільова

План 2013 р., поз. 146

Підп.до друку 2014 р. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.

Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк.

Наклад 100 прим. Зам. № Ціна договірна

---

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

---

Друкарня НТУ «ХП» 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.