



Д.Х. Дансүрүн

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Кызыл
2018

ФГБОУ ВО «ТУВИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Д.Х. Дансүрүн

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Кызыл
2018**

УДК 621.316.925(075.8)

ББК 31/27-053.73

Д18

Печатается по решению УМС ТувГУ

Рецензенты:

Архипов А.В., и.о. директора ГУП РТ «Единая региональная энергетическая система»;

Чооду А.О., кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Горное дело» ТувГУ

Дансюрюн Д.Х.

Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем: лабораторный практикум / Д.Х. Дансюрюн. – Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2018. – 84 с.

Лабораторный практикум по дисциплине «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» предназначен для студентов очной и заочной форм по направлению подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника. Данная работа содержит 12 лабораторных работ, в начале каждой работы дается цель выполнения лабораторной работы, краткие теоретические сведения из данной дисциплины, порядок выполнения лабораторных работ, а также перечень контрольных вопросов для проверки знаний студентов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Правила безопасности для студентов при проведении работ в лаборатории релейной защиты и автоматики	4
Общие указания к выполнению лабораторных работ	6
Описание универсального лабораторного стенда	8
Лабораторная работа №1. Токовая отсечка	14
Лабораторная работа № 2. Максимальная токовая защита с независимой времени	19
Лабораторная работа № 3. Максимальная токовая защита с пуском по напряжению.....	26
Лабораторная работа № 4. Максимальная токовая защита с ограниченно-зависимой выдержкой времени.....	31
Лабораторная работа № 5. Защита от однофазных коротких замыканий на землю.....	38
Лабораторная работа № 6. Продольная дифференциальная защита линии электропередач.....	43
Лабораторная работа № 7. Дифференциальная защита трансформатора	50
Лабораторная работа № 8. Дифференциальная защита шин.....	57
Лабораторная работа № 9. Автоматическое повторное включение линии электропередач	63
Лабораторная работа № 10. Автоматическое повторное включение шин	68
Лабораторная работа № 11. Автоматическое включение резерва питающего присоединения.....	75
Лабораторная работа № 12. Автоматическое включение резерва секционного выключателя	79
Библиографический список	83

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ В ЛАБОРАТОРИИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Ответственными за безопасное ведение работ являются преподаватели, проводящие занятия в лаборатории, лаборанты, ассистирующие при проведении работ, а также студенты – члены бригад, выполняющие лабораторные работы, (за соблюдение положений инструктажа, настоящих правил, правил внутреннего распорядка и устава университета). К работе допускаются студенты после получения инструктажа по технике безопасности и изучения инструкций лаборатории с отметкой в журнале инструктажа под роспись.

В лаборатории необходимо выполнять следующие правила:

- работать только на специально оборудованных рабочих местах;

- не касаться токоведущих частей электрической сети, аппаратов, установок, оборудования, приборов лаборатории. Необходимые, по программ работы, присоединения схемы с прикосновением к токоведущим частям производить только по распоряжению или с разрешения преподавателя, притом после снятия напряжения с токоведущих частей и проверки отсутствия на них напряжения;

- операции, связанные с прикосновением к токоведущим частям лабораторной установки, находящимся под напряжением, выполнять по распоряжению и с разрешения преподавателя с применением диэлектрических защитных средств, инструментов с изолированными рукоятками и под наблюдением другого члена бригады. При этом касание токоведущих частей допускается только в одной точке за исключением операций по проверке напряжения двухполюсным индикатором напряжения или вольтметром.

В последнем случае производится одновременное прикосновение щупами этих приборов в двух точках токоведущих частей или к токоведущей части заземленной или занулённой проводящей части этой же установки;

- не касаться металлической части свободного конца проводника, подсоединенного противоположным концом к вольтметру, если второй подсоединенный к вольтметру проводник, используемый при измерении или проверке, уже касается противоположной металлической частью токоведущих частей, находящихся под напряжением;

- при использовании инструмента с изолированными рукоятками или щупов приборов не захватывать их рукоятки за ограничительными кольцами или буртиками со стороны проводящих частей щупов и инструмента;

- не касаться отопительных батарей, других заземленных или зануленных инженерных конструкций и частей здания и одновременно проводящих частей электроприемников: металлических корпусов приборов, кожухов оборудования, аппаратов и т. п.;

- не считать отсутствие показаний стационарных измерительных приборов или отсутствие свечения стационарно-установленных сигнальных ламп абсолютным признаком отсутствия напряжения в контролируемых ими электрических цепях;

- не приближать голову к стендам на расстояние меньше 300 мм во избежание получения механических травм;

- по окончании работы или занятия приводить в исходное состояние рабочее место.

При проведении лабораторных работ запрещается

- оставлять в собранной на стенде схеме соединительные провода, подсоединенные только с одного конца;

- работать без изображенной графической схемы;

- пользоваться неисправным инструментом и оборудованием;

- включать под напряжение схему, без предварительной проверки и разрешения преподавателя;

- производить присоединение в электрических схемах под напряжением;

Производить рассоединение цепей, по которым протекает ток (независимо от уровня напряжения этих цепей);

- оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением;

- снимать и перевешивать предупреждающие или запрещающие плакаты или знаки, снимать или перемещать ограждения;

- загромождать рабочее место посторонними вещами;

- проникать за лицевые части стендов, ограждения дверки оборудования, снимать кожухи и защитные ограждения электроустройств;

- ходить без дела по лаборатории и отвлекать товарищей;

- оставлять схемы включенными после окончания работы.

Если произошел несчастный случай, необходимо:

- освободить пострадавшего от действия электрического тока путем снятия напряжения со схемы или иным безопасным способом;

- оказать первую помощь пострадавшему после устранения иных воздействий, наносящих вред его здоровью;

- сообщить о случившемся преподавателю;

- вызвать скорую помощь или медработника медпункта университета.

При возможности доставить пострадавшего в медпункт университета;

- указанные действия проводятся как можно быстрее.

Поэтому, при возможности, необходимо участие нескольких человек, которые не мешают друг другу.

НЕОБХОДИМО ПОМНИТЬ, ЧТО ОТСУТСТВИЕ ВИДИМЫХ ТЯЖЕЛЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА ИЛИ ДРУГИХ ПРИЧИН ЕЩЕ НЕ ИСКЛЮЧАЕТ ВОЗМОЖНОСТИ ПОСЛЕДУЮЩЕГО УХУДШЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОСТРАДАВШЕГО.

ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ВЫВОД О СОСТОЯНИИ ЕГО ЗДОРОВЬЯ МОЖЕТ СДЕЛАТЬ ТОЛЬКО ВРАЧ.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторная работа выполняется в два этапа: дома и непосредственно в лаборатории.

Работа дома. Перед выполнением очередной лабораторной работы необходимо произвести предварительную подготовку. Для этого нужно: ознакомиться с содержанием предстоящей работы, уяснить ее цель; повторить теоретический материал по рекомендуемой литературе; ответить на контрольные вопросы, изучить план проведения работы, приведенный в «Руководстве по выполнению...»; составить предварительный отчет со схемами, таблицами, расчетными формулами и предварительными расчетами, если они требуются.

При отсутствии предварительного отчета студент к работе не допускается.

Если вовремя аудиторных занятий в лаборатории студент не успел обработать полученные результаты и закончить оформление отчёта в окончательном виде, то эта часть работы также выполняется дома.

Работа в лаборатории. На основе предварительного отчета, конкретного задания и кратких методических указаний проводится сборка схемы и сам эксперимент. При этом рекомендуется: параллельные цепи выполнять проводами отличающихся друг от друга цветов; главную последовательную цепь выполнять сначала, а затем производить параллельные включения; сборку схемы вести от одного полюса источника питания и заканчивать на другом его полюсе; проверку схемы делать в начале по главному контуру цепи, а затем по параллельным соединениям. Переключения и другие операции по управлению собранной схемой производит один человек. Остальные члены бригады наблюдают за правильностью выполнения их, руководствуясь планом проведения работы, фиксируют получаемые результаты, производят необходимые вычисления и графические построения, заполняют бланки предварительных отчетов, выполняют указания лица, производящего операции управления, по его требованию.

Перед подачей напряжения должны быть проверены и установлены в исходное положение и состояние, регулирующие устройства (ручки, рукоятки и проч.) регуляторов и сами регуляторы стенда (рабочего места); проверены и, при необходимости, установлены в нулевые положения арретирами

и другими имеющимися устройствами стрелки измерительных приборов.

Собранную и проверенную схему следует предъявить для проверки руководителю лабораторных работ и только после его разрешения включать установку. При включении схемы под напряжение надо внимательно следить за поведением приборов, если они используются; при зашкаливании стрелок приборов схема должна быть немедленно отключена от источника питания для последующего определения и устранения причин такого явления.

По окончании работы и согласования с руководителем результатов испытаний схема должна быть разобрана и рабочее место подготовлено для работы другой бригады.

Во время занятий в лаборатории полученные результаты должны быть обработаны в максимально возможном объеме с целью сокращения внеаудиторной работы по окончательному оформлению отчета.

ОПИСАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Общий вид стенда представлен на следующем рисунке.



Лабораторный стенд «Релейная защита, автоматика и качество электрической энергии электроэнергетических систем» предназначен для проведения лабораторно-практических занятий по учебным дисциплинам электроэнергетического профиля в высших профессиональных образовательных учреждениях.

Стенд состоит из 12 модулей с типовым размером 200x248. На стенде размещены следующие модули:

- модуль питания стенда;
- модуль автотрансформатора;
- модуль выключателя;
- модуль ввода/вывода с платой ввода/вывода;
- модуль измерителя напряжения;
- модуль измерительный;
- модуль однофазной выпрямительной нагрузки и фильтрокомпенсирующего устройства;
- модуль продольной емкостной компенсации;
- модуль активной нагрузки;
- модуль трехфазной сети;
- модуль линии электропередач;
- модуль однофазных трансформаторов;
- модуль емкостной нагрузки;
- модуль индуктивной нагрузки;
- ноутбук;
- каркас для размещения 10 модулей;
- комплект соединительных проводов и кабелей;
- техническое описание стенда.

Для сборки схем, используемые в работе элементы модулей, соединяются между собой стандартными проводами из комплекта стенда. Для выполнения соединений штекеры проводов вставляются в соединительные гнезда лицевых

поверхностей модулей и гнезда обратной стороны штекеров.

Лабораторный стенд позволяет исследовать режимы работы линий электропередач с односторонним и двухсторонним питанием, исследовать факторы, влияющие на потери электрической энергии в распределительных сетях, изучить способы регулирования напряжения путем продольной и поперечной емкостной компенсации, экспериментально определить основные показатели качества электроэнергии, изучить способы улучшения показателей качества путем применения фильтрокомпенсирующих устройств, исследовать влияние выпрямительной нагрузки на содержание высших гармоник тока и напряжения, исследовать влияние отклонения

напряжения на мощность, потребляемую активной, индуктивной и емкостной нагрузкой.

Ноутбук является одним из составных звеньев лабораторного стенда и используется для сбора и обработки информации в реальном времени, в частности, для измерения показателей качества электрической энергии и их визуализации в графическом виде, а так же для реализации функции устройств автоматики и защиты.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Практически все модули, входящие в состав стенда, имеют трехфазное исполнение. Некоторые из них позволяют регулировать значения отдельных параметров, или управлять их работой. Изображение схем в трехфазном варианте с полным изображением внешнего вида каждого модуля и одновременном использовании более 10 различных модулей приводит к «не читаемости» схемы. По этой причине, большинство схем, приведенных в рекомендациях по выполнению лабораторных работ, изображены в общепринятом виде в однофазном исполнении. Однако, разделение на модули сохраняется (каждый модуль выделен пунктирным прямоугольником).

Модули, поддерживающие режим автоматического управления от персонального компьютера содержат в обозначении знак стрелки:

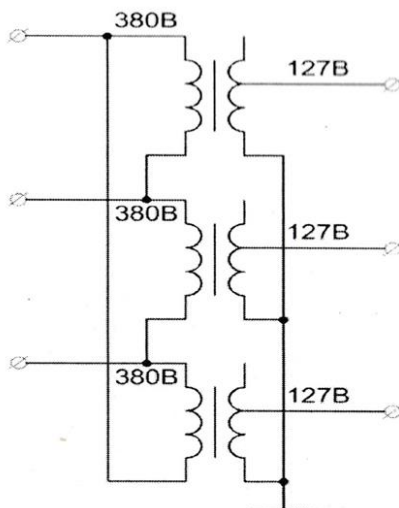


при этом, подразумевается аналоговое и (или) дискретное управление по нескольким сигнальным проводам. В схемах работ, не использующих автоматическое (дистанционное) управление, знак стрелки может не указываться.

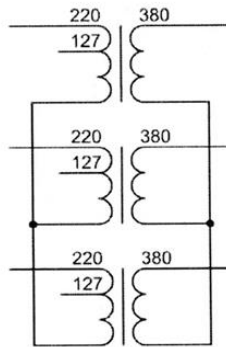
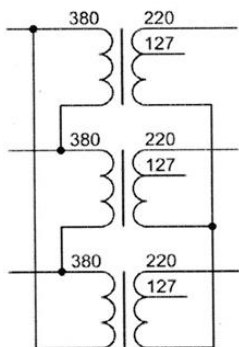
1) *Модуль однофазных трансформаторов.* Содержит 3 однофазных трансформатора с первичной обмоткой на 380В и вторичной обмоткой на 220В (с отпайкой на 127В). На схемах лабораторных испытаний модуль обозначается как трехфазный, с указанием схем соединения обмоток и величины линейного напряжения на каждой стороне трансформатора.



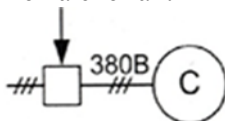
Приведенные обозначения соответствует следующей схеме соединения обмоток



Здесь указаны напряжения, соответствующие номинальным напряжениям отпаяк силовых трансформаторов. При работе стенда, реальные напряжения могут быть и ниже. Ниже показаны варианты соединения обмоток трансформаторов, обеспечивающие, получение различных коэффициентов трансформации:



2) *Модуль трехфазной сети.* Содержит источник трехфазного напряжения 380В и управляемый трехфазный выключатель. Обозначение на схемах:

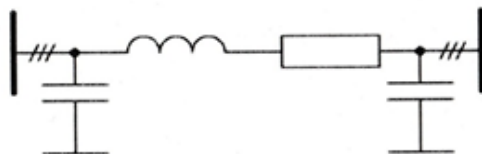


3) *Модуль выключателя.* Содержит управляемый трехфазный выключатель. Если автоматическое управление (от персонального компьютера) не задействовано, стрелка

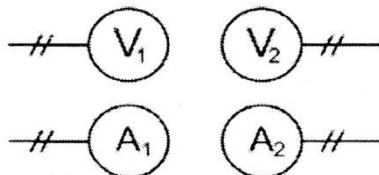


дистанционного управления может быть указана.

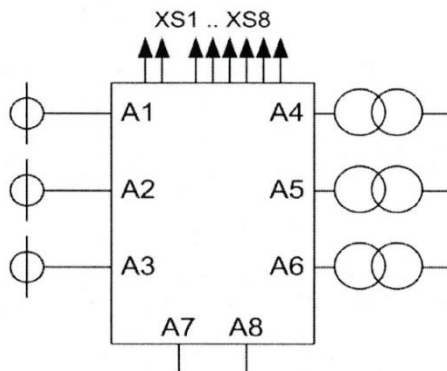
4) *Модуль линии электропередач.* Содержит трехфазную модель линии электропередач с изменяемой величиной ее продольной активной, продольной индуктивной и поперечной емкостной составляющих. При этом, емкостная составляющая может быть отклонена. Обозначение на схемах:



5) *Модуль измерительный.* Содержит 2 вольтметра и 2 частотомера. Обозначение на схемах:



6) *Модуль ввода-вывода.* Содержит 3 датчика тока, 3 датчика напряжения, разъемы аналогового (XSI..SX2) и дискретного управления (XS3..SX8). Обозначение на схемах:

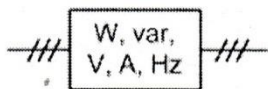


Датчики тока и датчики напряжения входят в состав модуля, но для повышения наглядности схем, изображаются непосредственно в цепях измерения.

7) *Активная нагрузка.* Содержит 3 регулируемых активных сопротивления. Обозначение на схемах:



8) *Измеритель мощности.* Представляет собой трехфазный измеритель активной мощности, реактивной мощности, фазных токов, напряжений и частоты. Обозначение на схемах:



9) *Модуль питания стенда.* Автомат подачи питания на все модули стенда. На схемах лабораторных испытаний не обозначен.

Дополнительная информация по модулям стенда содержится в его техническом описании.

Лабораторная работа №1

Токовая отсечка

Цель работы:

- изучить принцип действия токовой отсечки без выдержки времени;
- изучить методы расчета и проверки уставок защиты;
- исследовать факторы, влияющие на селективность, зону действия и чувствительность токовой отсечки.

Общие сведения:

Токовая отсечка - одна из самых распространенных и простых защит. Принцип действия защиты основан на сравнении токов фаз с током срабатывания защиты, при превышении тока в любой из фаз тока уставки, защита подает сигнал на отключение выключателя защищаемой линии мгновенно (токовая отсечка без выдержки времени) или с выдержкой времени (0,3...0,6с). Селективность действия защиты достигается ограничением зоны ее работы около 80% от длины защищаемой линии. Это достигается отстройкой пусковых органов защиты от максимально возможного тока короткого замыкания на шинах противоположной подстанции, получающей питание по защищаемой линии. Токовые отсечки применяются как в радиальных сетях с односторонним питанием, так и в сети, имеющей двустороннее питание. В сети с глухозаземленной нейтралью применяют трехфазные схемы, защищающие от коротких замыканий всех видов. Для защиты от междофазных коротких замыканий используется двухфазная схема «неполная звезда». В сети с изолированной нейтралью или заземленной через большое сопротивление применяются двухфазные схемы. Основными достоинствами токовой отсечки являются ее простота и высокое быстродействие. Основным недостатком зона действия отсечки охватывает лишь часть защищаемой линии, что требует применения совместно с токовой отсечкой других видов защит, например максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени.

Порядок выполнения работы:

- 1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 1. (ВСЕ модули стенда замены быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Для создания

короткого замыкания используется трех фазный выключатель 04. на схеме показан вариант его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в конце линии электропередачи. Выключатель Q3 снабжен устройством защиты и управляется автоматически. Устройство защиты, контролирует токи фаз линии электропередачи и формирует управляющие воздействия на выключатель Q3. Удаленность до точки короткого замыкания можно регулировать с помощью изменения положения переключателя SA1 модуля линии электропередач. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения - звезда без нулевого провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3иXS4модуля ввода-вывода соответственно.

2) Установить параметры линии электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) среднее значение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 2)

3) Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 1.

4) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 и Q4 в положение «Авт».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №1 Токовая отсечка».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести токовую отсечку в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ТО», в появившемся

диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

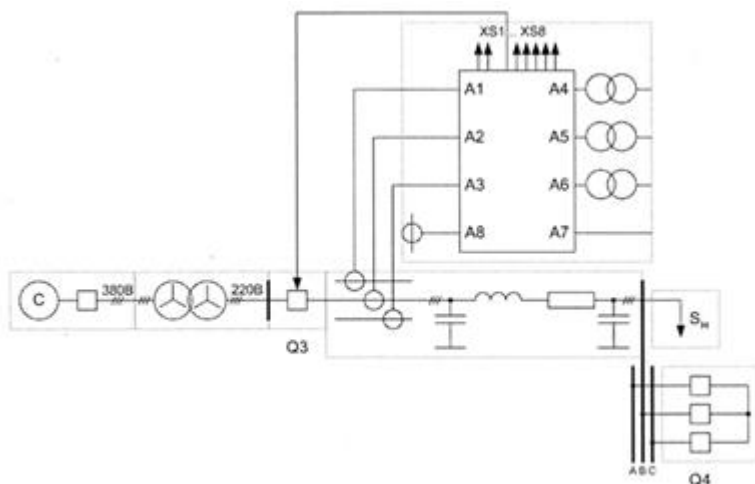


Рис. 1. Схема лабораторных испытаний

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов фаз А, В и С линии электропередачи, в данном случае, ток трехфазной нагрузки.

12) Дистанционно включить выключатель Q4 для создания короткого замыкания в конце линии электропередачи. Записать величину тока трехфазного $K3I_{K3}$. Отключить выключатель Q4. Отключить выключатель Q3. Остановить программу кнопкой

«Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания отсечки по формуле: $I_{сз} = I_{кз} * K_n$. Коэффициент надежности K_n принять равным 1,2. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{ср} = I_{сх} * K_{сх} / n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока принять равным 1. Коэффициент схемы $K_{сх}$ определяется выбранной схемой соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ТО», в появившемся диалоговом окне переключатель «Схема соединения обмоток ТА»). Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров токовой отсечки.

14) Перевести защиту в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команду на включение выключателя Q3. Создать короткое замыкание включением выключателя Q4. При правильно выбранных уставках защита не срабатывает. Отключить короткое замыкание, отключить выключатель линии электропередачи Q3.

15) Перевести переключатель SA1 модуля линии электропередачи в положение 2 для имитации короткого замыкания в середине ЛЭП. Включить выключатель ЛЭП Q3, включить выключатель Q4. При срабатывании защиты происходит мгновенное (без выдержки времени) отключение выключателя Q3, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «ТО» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «ТО» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты) ВНИМАНИЕ! Если не происходит автоматического отключения Q3 необходимо отключить короткое замыкание щелчком по выключателю Q4.

16) Провести испытания защиты при коротком замыкании в начале ЛЭП (Переключатель SA1 модуля линии электропередачи в положении 1, переключение SA1 проводить только при отключенном выключателе Q3).

17) Провести испытания защиты при двухфазных коротких замыканиях АВ, ВС и СА для случаев коротких замыканий в начале, середине и конце ЛЭП.

18) Полученные результаты представить в виде таблицы 1.1.

Таблица 1.1

Испытание токовой отсечки

Расстояние до точки повреждения	Вид КЗ: ABC	Вид КЗ: АВ	Вид КЗ: ВС	Вид КЗ: АС
33%				
66%				
100%	Не срабатывает	Не срабатывает	Не срабатывает	Не срабатывает

Примечание: расстоянию до точки повреждения 33% соответствует переключатель SA1 модуля ЛЭП в положении 1, 66% - SA1 в положении 2, 100% - SA3 в положении 3.

19) По полученным данным сделать вывод о длине зоны действия отсечки при различных видах повреждений, объяснить отличия в длине зоны действия отсечки при трехфазных и двухфазных КЗ (если они есть), объяснить, почему отсечка не охватывает всю длину ЛЭП и для чего это делается. Оформить отчет по лабораторной работе.

Контрольные вопросы:

1. Что такое зона действия отсечки?
2. Как выбирается уставка срабатывания отсечки?
3. Назовите основные достоинства и недостатки токовой отсечки?
4. Почему при выборе тока срабатывания отсечки не учитывается коэффициент возврата токового реле?
5. Как выставить уставки на лицевой панели измерительного токового реле, используемого в качестве измерительного органа в проводимой работе?

6. Зачем при проведении трех опытов на срабатывание токовой отсечки переключатель SA1 модуля линии электропередачи устанавливается в положения 1, 2 или 3 соответственно?
7. Что собой представляют поперечные и продольные составляющие параметров линии электропередачи?
8. Как определить чувствительность токовой отсечки?
9. Что собой представляет используемое в работе статическое токовое реле, чем оно отличается от электромеханических реле тока?
10. Какими элементами определяется время срабатывания токовой отсечки?
11. В каком случае зона несрабатывания ТО охватит всю электрическую длину защищаемого элемента?
12. Как определяется ток срабатывания ТО конечных, тупиковых участков системы электроснабжения (присоединений электроприемников)?
13. В чем разница между током срабатывания защиты и током срабатывания (уставкой) измерительного (пускового) органа защиты?
14. Каким образом проверяется чувствительность ТО?
15. Почему при расчете тока срабатывания токовой отсечки здесь не использован коэффициент схемы?
15. Рассказать, как работает схема, приведенная на рис. 1.1.

Лабораторная работа №2

Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени

Цель работы:

- изучить принцип действия максимальной токовой защиты;
- изучить методы расчета и проверки уставок защиты;
- исследовать влияние схемы соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле на чувствительность МТЗ;
- исследовать факторы, влияющие на селективность и зону действия МТЗ.

Общие сведения:

Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени - одна из самых распространенных видов защит в распределительных сетях 6-35 кВ с радиальным питанием. Принцип действия защиты основан на сравнении токов фаз с током срабатывания защиты. При превышении тока в любом из пусковых реле тока уставки, запускается отсчет выдержки времени. Если ток в линии превышает ток срабатывания защиты в течение заданного времени, защита подает сигнал на отключение выключателя защищаемой линии. Селективность действия защиты достигается за счет выбора уставок срабатывания двух смежных защит по времени, таким образом, что защита, установленная на линии более близкой к источнику питания имеет большую выдержку времени. Уставки срабатывания защиты по току выбираются исходя из условия отстройки защиты от максимально возможных токов рабочего режима, и исходя из условия обеспечения достаточной чувствительности защиты в основной и резервной зоне. Одним из достоинств максимальной токовой защиты является резервирование действия смежной защиты. Так при отказе одной из защит отключение короткого замыкания осуществляется смежной защитой, находящейся ближе к источнику питания. Основным недостатком защиты - слишком большие выдержки времени при коротких замыканиях вблизи источников питания, что ограничивает возможности применения защиты в сложных распределительных сетях.

Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 2. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!) Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q4, на схеме показан вариант его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в конце линии электропередачи. Выключатель Q3 снабжен устройством защиты и управляется автоматически. Устройство защиты контролирует фазные токи и формирует управляющие воздействия на выключатель Q3. Удаленность до точки короткого замыкания можно регулировать с помощью измерения положения переключателя SA1 модуля линии

электропередач. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения - звезда без нулевого провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля - вывода соответственно

2) Установить параметры линии электропередач:

а) минимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 1);

б) отключение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 1).

3) Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положения 1.

4) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 и Q4 в положение «Авт».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

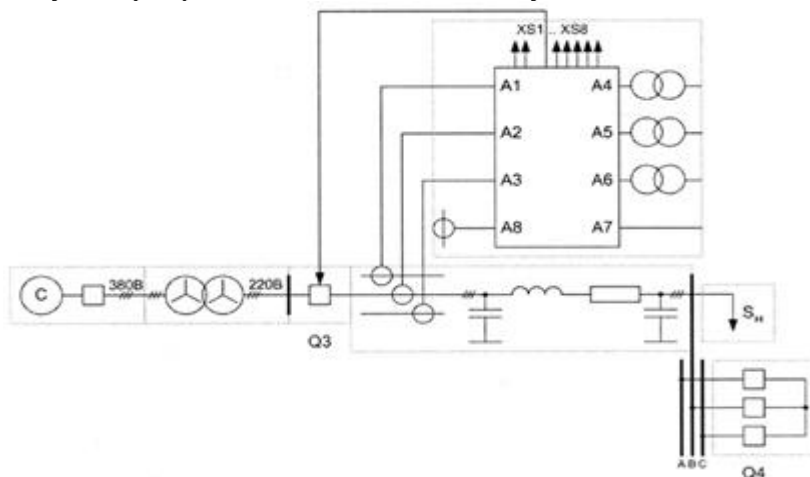


Рис.2. Схема испытаний максимальной токовой защиты

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой

«Работы - Релейная защита - Работа №2 МТЗ с независимой выдержкой времени».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на параметрах мнемосхеме отображаются текущие величины токов фаз красный. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов фаз А, В и С линии электропередачи, в данном случае, ток трехфазной нагрузки.

12) Записать величину тока нагрузки $I_{\text{раб макс}}$. Отключить выключатель Q3. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле:
$$I_{сз} = I_{\text{раб макс}} * K_H * K_з / K_{\text{воз}}$$

Коэффициент надежности K_H принять равным 1,2. Коэффициент запуска двигательной нагрузки $K_з$, принять равным 1. Коэффициент возврата реле тока $K_{\text{воз}}$ принять равным 0,95. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{CP} = I_{сз} * K_{сх} / n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 1. Коэффициент схемы $K_{сх}$ определяется выбранной схемой соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне переключатель «Схема

соединения обмоток ТА»)). Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты. Убедиться в том, что в параметрах защиты выбрана схема соединения обмоток «полная звезда».

14) Перевести защиту в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команду на включение выключателя Q3. Создать короткое замыкание включением выключателя Q4. Записать в таблицу 1.2 токи в обмотках реле тока МТЗ (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне см. группу «Измерения»). При правильно выбранных уставках защита срабатывает с «заданной выдержкой времени, отключая выключатель Q3, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «МТЗ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «МТЗ» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). Отключить короткое замыкание (выключатель Q4), отключить выключатель линии электропередачи Q3 (если он не был отключен действием защиты).

15) Провести испытания защиты при двухфазных коротких замыканиях А В, ВС и СА. Результаты представить в таблице 1.2.

16) Изменить схему соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле на схему «Неполная звезда с дополнительным реле» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне переключатель «Схема соединения обмоток ТА»)). При необходимости пересчитать и ввести ток срабатывания реле тока в связи с изменением схемы соединения обмоток. Провести испытания защиты при трехфазном и всех видах двухфазных коротких замыканий. Результаты представить в таблице 1.2.

17) Изменить схему соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле на схему «Неполная звезда» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне переключатель «Схема соединения обмоток ТА»)). При

необходимости пересчитать и ввести ток срабатывания реле тока в связи с изменением схемы соединения обмоток. Провести испытания защиты при трехфазном и всех видах двухфазных коротких замыканий. Результаты представить в таблице 1.2.

18) Измерить схему соединения обмоток измерительных трансформаторов тока обмоток реле и схему «Неполный треугольник». При необходимости пересчитать и ввести ток срабатывания реле тока в связи с изменением схемы соединения обмоток. Провести испытания защита при трехфазном и всех видах двухфазных коротких замыканий. Результаты представить в таблице 1.2.

19) Рассчитать коэффициенты чувствительности защиты для каждой схемы соединения обмоток. Полученные значения представить в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Испытание МТЗ с независимой выдержкой времени

Схема соединения трансформаторов тока и обмоток реле		Величины тока в обмотках реле при различных видах КЗ				Расчетный коэффициент К _ч
		ABC	AB	BC	CA	
Неполный треугольник	КА1					
Неполная звезда	КА1					
	КА2					
Неполная звезда с дополнительным реле	КА1					
	КА2					
	КА3					
Полная звезда	КА1					
	КА2					
	КА3					

20) По полученным данным сделать вывод о влиянии схемы пусковых органов защиты на ее чувствительность при различных видах повреждений. Оформить отчет по лабораторной работе.

Контрольные вопросы:

- 1) Как выбирается уставка по току для максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени?
- 2) Как обеспечивается селективность действия защит в сети с радиальным питанием?
- 3) Что такое «основная» и «резервная» зона действия защиты?
- 4) Что такое коэффициент схемы используемой при определении I_{cp}
- 5) Назовите основной недостаток применения максимальном токовой защиты в радиальных распределительных сетях с односторонним питанием?
7. Дать определение чувствительности и формулу для ее расчета.
8. Чем отличается используемое в работе реле времени от электромеханического реле?
9. Каким элементом исследуемой схемы определяется, прежде всего, время локализации поврежденного участка максимальной токовой защитой?
10. Как выставить уставку выдержки времени на реле КТ1, используемом в исследуемой схеме защиты?
11. В каких случаях и зачем при определении тока срабатывания измерительного органа защиты используется коэффициент схемы?
12. Рассказать, как работает схема, изображенная на рис. 2.
13. Как выставить уставку тока на реле КА?
14. Какой еще необходимый коэффициент отсутствует в формуле расчета I_{cp} ? Где его место в формуле?
15. Токи, каких цепей используются для вычисления коэффициента чувствительности?

Лабораторная работа №3

Максимальная токовая защита с пуском по напряжению

Цель работы:

- изучить принцип действия максимальной токовой защиты с пуском по напряжению;
- изучить методы расчета и проверки уставок защиты;
- исследовать влияние пусковых органов напряжения на чувствительность МТЗ.

Общие сведения:

Максимальная токовая защита с пуском по напряжению - одна из разновидностей максимальных токовых защит с независимой выдержкой времени. Основным отличием защиты является наличие пусковых органов минимального напряжения. При этом для срабатывания защиты необходимо выполнение двух факторов, а именно, превышение тока фаз защищаемого объекта тока срабатывания защиты и снижение напряжения на шинах подстанции ниже уставки срабатывания защиты по напряжению. Применение пусковых органов напряжения позволяет повысить коэффициент чувствительности защиты, так как в этом случае при расчете тока срабатывания защиты не учитывается коэффициент запуска двигательной нагрузки.

Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q4, на схеме показан вариант его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в конце линии электропередачи. Выключатель Q3 снабжен устройством защиты и управляется автоматически. Устройство защиты контролирует фазные токи линии электропередачи и линейные напряжения питающих шин и формирует управляющее воздействие на выключатель Q3. Удаленность до точки короткого замыкания можно регулировать с помощью изменения положения переключателя SA1 модуля линии электропередач. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения — звезда без нулевого

провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля ввода-вывода соответственно.

2) Установить параметры линии электропередач: а) минимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 1); б) отключение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 1).

3) Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 8.

4) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 и Q4 в положение «Авт».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №3 МТЗ спуском по напряжению».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗН», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

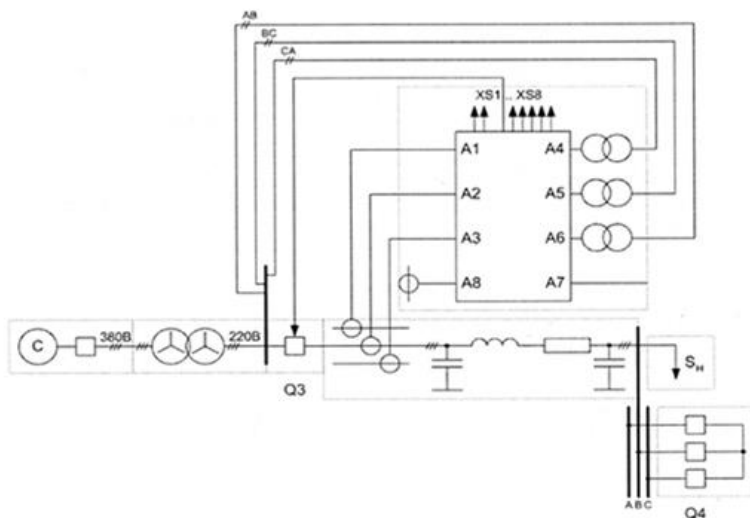


Рис. 3. Схема лабораторных испытаний

Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов фаз А, В и С линии электропередачи, в данном случае, ток трехфазной нагрузки и текущие величины линейных напряжений питающих шин.

12) Записать величину тока нагрузки $I_{\text{раб. макс.}}$. Записать величину минимального рабочего напряжения $U_{\text{раб. мин.}}$. Отключить выключатель Q3. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле: $I_{\text{сз}} = I_{\text{раб макс}} * K_n / K_{\text{воз}}$. Коэффициент надежности K_n принять равным 1,2. Коэффициент возврата реле тока $K_{\text{воз}}$ принять равным 0,95. Рассчитать ток срабатывания реле тока

$I_{CP} = I_{C3} * K_{CX} / n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 1. Коэффициент схемы K_{CX} определяется выбранной схемой соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗН», в появившемся диалоговом окне переключатель «Схема соединения обмоток ТА»). Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты. Убедится в том, что в параметрах защиты выбрана схема соединения обмоток «полная звезда».

14) Рассчитать напряжение срабатывания защиты по формуле: $I_{C3} = I_{\text{раб.мин}} * K_H / K_{BO3}$. Коэффициент надежности K_H принять равным 0,8 Коэффициент возврата реле напряжения K_{BO3} принять равным 1.05. Рассчитать напряжение срабатывания реле $U_{CP} = U_{CP} / n_H$. Коэффициент трансформации трансформатора напряжения n_H принять равным 2. Ввести расчетное напряжение срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗН», в появившемся диалоговом окне параметр «Напряжение срабатывания KV»).

15) Перевести защиту в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команду на включение выключатель Q3.

16) Проверить селективность действия защиты при увеличении тока нагрузки, например, при пуске двигателей. Для этого, перевести переключатель SA1 модуля активной нагрузки в положение 1. Убедится, что ток нагрузки превышает уставку срабатывания защиты по току, но защита при этом не срабатывает. Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 8.

17) Создать короткое замыкание включением выключателя Q4. Записать в таблицу 1.3 токи в обмотках реле тока МТЗ (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗН», в появившемся диалоговом окне см. группу «Измерения»). При правильно выбранных уставках защита срабатывает с заданной выдержкой времени, отключая выключатель Q3, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «МТЗН» красным, что свидетельствует о срабатывании

указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «МТЗН» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). Отключить короткое замыкание (выключатель Q4), отключить выключатель линии электропередачи Q3 (если он не был отключен действием защиты).

18) Рассчитать коэффициент чувствительности защиты. Полученное значение представить в таблице 1.3.

19) Сравнить полученный коэффициент чувствительности с коэффициентом чувствительности для схемы «Полная звезда» из отчета по лабораторной работе «МТЗ с независимой выдержкой времени». Сделать вывод о влиянии пусковых органов напряжения на чувствительность защиты. Оформить отчет по лабораторной работе.

Таблица 1.3

Испытание МТЗ с пуском по напряжению

Схема соединения трансформаторов тока и обмоток реле		Величины тока в обмотках реле при различных видах КЗ				Расчетный коэффициент К _ч
		ABC	AB	BC	CA	
Полная звезда	KA1					
	KA2					
	KA3					

Контрольные вопросы:

1. Почему при выборе уставки по току для максимальной токовой защиты с пуском по напряжению не учитывают коэффициент запуска двигательной нагрузки?
2. Как влияет наличие пусковых органов напряжения в схеме защиты на ее чувствительность?
3. Назовите основные достоинства и недостатки максимальной токовой защиты с пуском по напряжению?
4. Как повлияет обрыв в измерительных цепях напряжения на селективность действия защиты?
5. Как производится оценка чувствительности изучаемой защиты?

- 5.6. Зачем на реле тока, напряжения, времени, используемые в данной работе, подается дополнительное питание?
6. Каково минимально приемлемое количество трансформаторов тока, трансформаторов напряжения такой защиты, применяемой на участке электрической сети напряжением 10 кВ? Напряжением выше 69 кВ? Ответы обосновать.
7. Что такое блок - контакты выключателей и их приводов, за счет чего и когда они срабатывают, каково их назначение?
8. Как выставить уставку реле напряжения, используемого в работе?
- 5.10. В каких случаях в расчетах применяется коэффициент схемы ($K_{сх}$)?

Лабораторная работа №4

Максимальная токовая защита с ограниченно-зависимой выдержкой времени

Цель работы:

- изучить принцип действия максимальной токовой защиты с ограниченно- зависимой выдержкой времени;
- освоить методы расчета уставок защиты;
- изучить методы согласования характеристик защит смежных участков
- исследовать факторы, влияющие на селективность, зону действия и чувствительность защиты.

Общие сведения:

Максимальная токовая защита с ограниченно-зависимой выдержкой времени широко применяется в сетях 6 ... 10 кВ с односторонним питанием, на понижающих трансформаторах, электродвигателях, подверженных технологическим перегрузкам. Максимальная токовая защита с ограниченно-зависимой выдержкой времени выполняется с использованием индукционных реле типа РТ-80 Типовая характеристика реле РТ-80 имеет обратно - зависимый характер, так при увеличении тока, протекающего по обмотке реле, время срабатывания защиты уменьшается. Достоинством подобной защиты является хорошая отстройка от кратковременных токов перегрузки, так

как в этом случае защита имеет существенную выдержку времени.

Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 4. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема лабораторных испытаний содержит две, последовательно включенные линии электропередач, в нормальном режиме, обеспечивающих питание нагрузки в конце второй ЛЭП от трехфазного источника. В качестве аварийных режимов, предусматривается возможность возникновения трехфазного короткого замыкания в различных точках сети (точки K1, K2, K3, K4). Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q (на рис. 1.4 показаны варианты его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в указанных выше точках). Каждая ЛЭП снабжается индивидуальным устройством защиты, воздействующим на соответствующий выключатель Q3 или Q4. Устройства защиты контролируют величины фазных токов линий электропередач и формируют управляющие воздействия на соответствующие выключатели. Удаленность до точки короткого замыкания можно регулировать с помощью изменения положения переключателей SA1 модулей линии электропередач. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения — звезда без нулевого провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы X81 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля ввода-вывода соответственно.

2) Установить параметры линии электропередач:

а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3);

б) среднее значение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 2).

3) Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение №1.

4) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 и Q4 в положение «Авт».

5) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателем Q и модулем трехфазной сети в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы — Релейная защита Работа №4 МТЗ с ограниченно-зависимой выдержкой времени».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту МТ301 и МТ302 в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТ301» и «МТ302», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3». Дистанционно включить выключатель Q4. Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатели Q3 и Q4 должны включиться, а их цвет измениться на красный. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов по линиям электропередач, в данном случае, токи трехфазной нагрузки.

12) Записать величины токов нагрузки линий электропередач I_1 и I_2 . Отключить выключатели Q3 и Q4. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты МТ301 по формуле: $I_{C3I} = I_1 * K_H * K_3 / K_{воз}$. Коэффициент надежности K_H принять равным 1,2.

Коэффициент запуска двигательной нагрузки K_3 принять равным 1. Коэффициент возврата реле тока $K_{воз}$ принять равным 0,85. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{ср1} = I_{C3} K_{CX} / n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 0,1. Коэффициент схемы K_{CX} принять равным 1.

Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТ301»).

14) Рассчитать и ввести ток срабатывания защиты МТ302 (аналогично предыдущему пункту).

15) Перевести защиту МТ302 в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команду на включение выключателей Q3 и Q4. Создать короткое замыкание включением выключателя Q (кнопкой SB1 на лицевой панели выключателя). При правильно выбранных уставках защита срабатывает с выдержкой времени и отключает выключатель Q4, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «МТ302» красным, что срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой мыши по прямоугольнику «МТ302» сбрасывает состояние указательного

реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). Определить время срабатывания защиты МТ302 (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТ302», в появившемся диалоговом окне см. группу «Измерения»). Отключить выключатель Q (кнопкой SB2 на лицевой панели выключателя). Провести серию опытов, изменяя значение выдержки времени срабатывания защиты МТ302, так, чтобы время срабатывания защиты МТ302 при коротком замыкании в конце ее основной зоны действия было равно заданному преподавателем (например, 3.5с). Внимание! Изменение уставок защит производить только при остановленной программе (кнопка «Стоп» или соответствующая команда главного меню *программы*). Полученное время срабатывания $t_{C32.K3}$ занести в таблицу 1.4.

16) При выключенном питании стенда изменить точку подключения выключателя Q для создания короткого замыкания в точке КЗ. Подать питание стенда. Включить выключатель модуля трехфазной сети. Запустить программу в работу. Определить время срабатывания защиты МТ302 при коротком замыкании в точке КЗ. Полученное значение занести в таблицу 1.4.

17) Рассчитать время срабатывания защиты МТ301 при коротком замыкании в точке КЗ по формуле $t_{CЗ1.КЗ}=t_{CЗ2.КЗ}+\Delta t$. Степень селективности Δt принять равной 0.8с.

18) Перевести защиту МТ302 в режим действия на сигнал. Перевести защиту МТ301 в режим действия на отключение. Определить время срабатывания защиты МТ301 при коротком замыкании в точке КЗ. Провести серию опытов, изменяя значение выдержки времени срабатывания защиты МТ301, так, чтобы время срабатывания защиты МТ301 при коротком замыкании в точке КЗ стало равно рассчитанному значению. Полученное значение занести в таблицу 1.4.

19) Перевести защиту МТ302 в режим действия на отключение. Проверить селективность действия защит при коротких замыканиях в различных точках сети. Определить время срабатывания защиты МТ301 при коротких замыканиях в точке К2 и различном расстоянии до места повреждения (изменять положением переключателя SA1 модуля линии электропередачи, так положение 1 соответствует расстоянию 33% от начала линии, положение 2 — 66%, а положение 3 — 100%). Полученные значения занести в таблицу 1.4.

Таблица 1.4

Испытание МТЗ с ограниченно-зависимой выдержкой времени

Комплект защиты	Время срабатывания защиты, при котором замыкания на ЛЭП-1 на расстоянии			Время срабатывания защиты, при котором замыкания на ЛЭП-2 на расстоянии			
	33%	66%	100%	0%	33%	66%	100%
МТ301							
МТ302	-	-	-				

20) Определить время срабатывания защиты МТ302 при коротких замыканиях в точке К4 и различном расстоянии до места повреждения (изменять положением переключателя SA1 модуля линии электропередачи, так положение 1 соответствует расстоянию 33% от начала линии, положение 2 — 66%, а

положение 3 – 100%). Полученные значения занести в таблицу 1.4.

21) Исследовать работу защиты МТ301 в зоне резервирования. Для этого, перевести защиту МТ302 в режим действия на сигнал и провести серию опытов при коротких замыканиях в точке К4 и различном расстоянии до места повреждения. Времена срабатывания защиты МТ301 заносить в таблицу 1.4.

22) Построить графики зависимости времени срабатывания защит МТ301 и МТ302 от расстояния до места повреждения. Сделать выводы о достоинствах и недостатках данного вида защит. Оформить отчет по лабораторной работе.

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные преимущества и недостатки максимальной токовой защиты с ограниченно - зависимой выдержкой времени?
2. Как выбирается выдержка времени МТЗ с ограниченно - зависимой характеристикой?
3. Почему при выборе тока срабатывания отсечки не учитывают коэффициент возврата?
4. В какой точке выполняется согласование характеристик защит при использовании отсечки?
5. Как производится оценка чувствительности изучаемой защиты?
6. Зачем на реле тока, напряжения, времени, используемые в данной работе, подается дополнительное питание?
7. Каково минимально приемлемое количество трансформаторов тока, трансформаторов напряжения такой защиты, применяемой на участке электрической сети напряжением 10 кВ? Напряжением выше 69 кВ? Ответы обосновать.
8. Что такое блок - контакты выключателей и их приводов, за счет чего и когда они срабатывают, каково их назначение?
9. Как выставить уставку реле напряжения, используемого в работе?
10. В каких случаях в расчетах применяется коэффициент схемы ($K_{сх}$)?

Лабораторная работа №5

Защита от однофазных коротких замыканий на землю

Цель работы:

- изучить принцип действия защиты от замыканий на землю;
- изучить методы расчета и проверки уставок защиты;
- исследовать селективность и чувствительность защиты от замыканий на землю при различных видах повреждений.

Общие сведения:

Защита от однофазных замыканий на землю с действием на отключение широко применяется в сетях с глухозаземленной нейтралью от 110 кВ и на силовых понижающих трансформаторах, так как данные повреждения относятся к опасным возмущающим воздействиям электроэнергетических систем. В сетях 35 кВ и ниже применение «земляных» защит сопряжено с определенными трудностями, связанными с тем, что данные сети работают с изолированной или компенсированной нейтралью. В этом случае, токи однофазных коротких замыканий оказываются небольшими и чувствительность защит в ряде случаев оказывается недостаточной. Кроме того, определенные сложности появляются с определением места повреждения (т. е. селективностью действия защит). Учитывая эти факторы защиты от замыканий на землю в распределительных сетях с изолированной нейтралью выполняются с действием на сигнал.

Принцип действия защит от однофазных коротких замыканий основан на использовании реле тока нулевой последовательности, или токовых реле, включенных через фильтры нулевой последовательности. В сетях с двухсторонним питанием также требуются дополнительные меры по обеспечению селективности действия двух смежных защит, для чего применяются реле направления мощности.

Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 5. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q4, на схеме показан вариант его подключения для

имитации режима трехфазного короткого замыкания в конце линии электропередачи. При имитации однофазных и двухфазных КЗ на землю соответствующие полюса выключателя Q4 необходимо соединить с нейтралью модуля линии электропередач. Выключатель Q3 снабжен устройством защиты и управляется автоматически. Устройство защиты контролирует сумму токов трех фаз линии электропередачи (ток нулевой последовательности) и формирует управляющее воздействие на выключатель Q3. Удаленность до точки короткого замыкания можно регулировать с помощью изменения положения переключателя SA1 модуля линии электропередач. Нейтраль (общая точка) трансформатора со стороны вторичной обмотки необходимо соединить с нейтралью линии электропередач. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения — звезда без нулевого провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединив разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля ввода - вывода соответственно.

2) Установить параметры линии электропередач:

а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3);

б) отключение поперечной составляющей (переключатель SA2 в положение 1).

3) Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 1.

4) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 и Q4 в положение «Авт».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №5 Защита от однофазных коротких замыканий».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

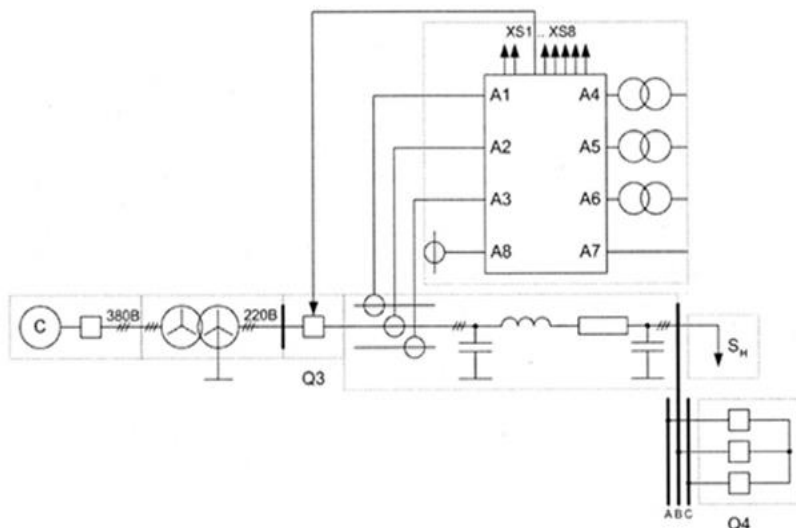


Рис.5. Схема лабораторных испытаний

9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ТЗНП», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком «левой кнопки мыши» на зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов фаз А, В и С линии электропередачи, в данном случае, ток трехфазной нагрузки.

12) Открыть окно настройки защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ТЗНП»). Записать

величину тока в обмотке реле (см. группу «Измерения» в окне параметров защиты) пропорциональную току нулевой последовательности в режиме нагрузки $I_{0,нагр}$. Подать команду на включение выключателя Q4 для создания режима трехфазного короткого замыкания. Записать величину тока в обмотке реле пропорциональную току нулевой последовательности в режиме короткого замыкания $I_{0,кз}$. Отключить выключатель Q3. Отключить выключатель Q4. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление — Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле: $I_{C3}=I_0 \cdot K_H / K_{ВОЗ}$. В качестве величины тока I_0 взять максимальное из двух измеренных ранее значений $I_{0,нагр}$, $I_{0,кз}$. Коэффициент надежности K_H принять равным 1,5. Коэффициент возврата реле тока $K_{ВОЗ}$ принять равным 0,95. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{Cp}=I_{C3}/n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 1. Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты.

Таблица 1.5

Испытание защиты от однофазных замыканий

Вид короткого замыкания	Ток уставки, А	Ток в обмотке реле, А	Расчетный коэффициент чувствительности
Замыкание фаз ABC			
Замыкание фаз AB			
Замыкание фаз BC			
Замыкание фаз CA			
Замыкание фаз A на землю			
Замыкание фаз B на землю			

Замыкание фаз С на землю			
Замыкание фаз АВ на землю			
Замыкание фаз ВС на землю			
Замыкание фаз СА на землю			

14) Перевести защиту в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команду на включение выключателя Q3. Создать короткое замыкание включением выключателя Q4. Убедиться в том, что защита не срабатывает при трехфазном коротком замыкании. Отключить выключатель Q4, отключить выключатель Q3.

15) Провести испытания защиты при всех видах несимметричных коротких замыканий (двухфазные, однофазные, двухфазные на землю). В таблицу 1.5 заносить токи в обмотке реле (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ТЗНП», в появившемся диалоговом окне см. группу «Измерения»).

16) Рассчитать коэффициенты чувствительности защиты для каждого вида повреждения. Полученные значения представить в таблице 1.5.

17) По полученным данным сделать выводы о чувствительности и селективности действия защиты при различных видах повреждений. Оформить отчет по лабораторной работе.

Контрольные вопросы:

1. Как обеспечивается селективность действия защит от однофазных коротких замыканий?
2. Как рассчитываются уставки защиты от замыканий на землю?

3. Существует ли разница в принципах выполнения защит от однофазных коротких замыканий в сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью? Чем она обусловлена?

4. Для чего предназначен фильтр тока нулевой последовательности? Объясните принцип его работы.

Лабораторная работа №6 **Продольная дифференциальная защита линии** **электропередачи**

Цель работы:

- изучить принцип действия продольной дифференциальной защиты линии электропередачи;
- исследовать факторы, влияющие на селективность, зону действия и чувствительность защиты.

Общие сведения:

Продольная дифференциальная защита линий электропередач является основным средством защиты в сетях с двухсторонним питанием напряжением 110кВ и выше. Во многом это обусловлено тем, что данный вид защиты относится к защитам с абсолютной селективностью, так как по принципу действия не реагирует на токи внешних коротких замыканий, токи нагрузки и токи синхронных качаний. Это позволяет реализовать защиту быстродействующей, т.е срабатывающей без выдержки времени (нет необходимости отстраивать защиты по времени по ступенчатому принципу как это делается, например, в токовых направленных защитах). Быстрое отключение коротких замыканий особенно актуально в сетях высокого напряжения (110кВ и выше), так как время существования короткого замыкания напрямую связано с устойчивостью параллельной работы синхронных генераторов. Из недостатков защиты в первую очередь следует отметить необходимость передачи сигналов на значительные расстояния, так как измерительные трансформаторы тока располагаются по концам линии электропередачи. Для длинных линий электропередачи это может приводить к определенным трудностям, поэтому в электроэнергетических системах используются защиты,

построенные на принципе продольной дифференциацией, но использующие высокочастотные каналы передачи сигналов, например, дифференциально-фазные высокочастотные защиты и т.п.

Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 6. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!).

Схема лабораторных испытаний представляет собой линию электропередач имеющую 2 выключателя Q3 и Q4 с одной и другой стороны линии и питающую трехфазную активную нагрузку. На линии установлен комплект продольной дифференциальной защиты, подключенный на ток фазы А в начале и ток фазы А в конце линии. Схема подключения токов через входы A1 и A2 модуля ввода-вывода должна быть такой, что при коротком замыкании на шинах противоположной подстанции (выключатель Q как показано на рисунке), сигналы на входах A1 и A2 совпадают по фазе. Линия электропередачи образованна последовательным включением двух модулей линий электропередач, что позволяет имитировать короткое замыкание в середине линии.

В качестве аварийных режимов, предусматривается короткое замыкание на линии, а также короткое замыкание на шинах за линией. Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q (на рис. 6 показаны варианты его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в указанных выше точках). Устройство защиты контролирует величину разности фазных токов в начале и конце линии электропередачи и формирует управляющее воздействие на отключение выключателей. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения — звезда без нулевого провода. Для дистанционного автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля ввода-вывода соответственно.

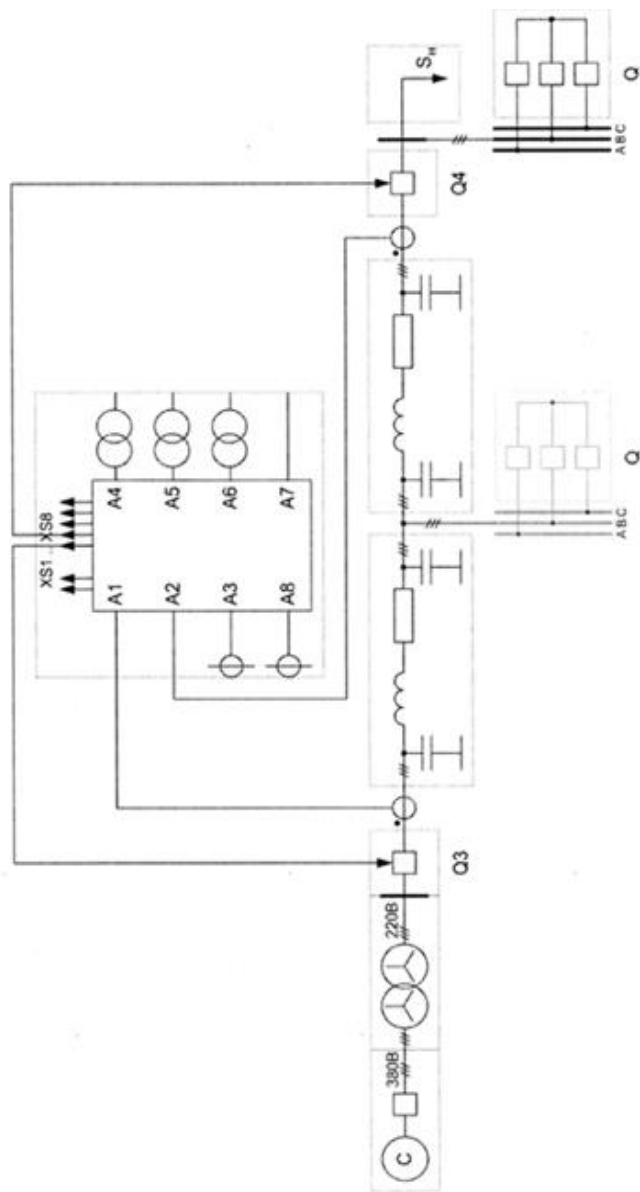


Рис.6. Схема лабораторных испытаний

2) Установить параметры линии электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) включить поперечную составляющую в начале ЛЭП-1 (переключатель SA3 в положение 2, переключатель SA2 в положение 1) и конце ЛЭП-2 (переключатель SA2 в положение 2, переключатель SA3 в положение 1). Установить максимальную величину нагрузки (переключатель SA1 модуля активной нагрузки в положение 1).

3) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателей Q3 и Q4 в положение «Авт».

4) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №6 Продольная дифференциальная защита ЛЭП».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗЛ», появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы»? положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. Аналогичным образом включить выключатель Q4. При этом на мнемосхеме отображаются

текущие величины тока в начале I_n и конце I_k линии электропередачи.

12) Открыть окно настройки защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗЛ»). В таблицу 1.6 записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле (см. группу «Измерения» в окне параметров защиты) в режиме нагрузки $I_{нб.нагр.}$. Включить выключатель Q (кнопкой SB1 на лицевой панели модуля выключателя) для создания режима внешнего трехфазного короткого замыкания. В таблицу 1.6 записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме внешнего короткого замыкания $I_{нб.КЗ}$. Отключить выключатель Q (кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя) Дистанционно отключить выключатели Q3 и Q4. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле:
$$I_{CЗ} = I_{нб} * K_n.$$

В качестве величины тока небаланса $I_{нб}$ взять максимальное из двух измеренных ранее значений $I_{нб.нагр.}$, $I_{нб.КЗ}$. Коэффициент надежности K_n принять равным 1,5. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{CЗ} = I_{CЗ} / n_T$. В таблицу 1.6 записать максимальное значение тока небаланса $I_{нб}$, расчетное значение тока срабатывания защиты $I_{CЗ}$ и величину тока срабатывания реле $I_{CЗ}$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 1. Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты.

14) Перевести защиту в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3 и Q4. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. Убедится в том, что защита не срабатывает при внешнем трехфазном коротком замыкании. Отключить выключатель Q, дистанционно отключить выключатели Q3 и Q4.

15) Изменить точку подключения выключателя Q для создания трехфазного короткого замыкания на линии электропередачи. Подать команды на дистанционное включение

выключателей Q3 и Q4. Создать короткое замыкание включением выключателя О. При правильно выбранных уставках защита срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3 и Q4. их цвет становится зеленым, а прямоугольник «ДЗЛ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «ДЗЛ» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). Отключить короткое замыкание (выключатель Q). Остановить работу программы кнопкой «Стоп».

16) Провести серию опытов при различном расстоянии до точки короткого замыкания (изменяя соотношение между положениями переключателей SA1 модулей ЛЭП).

17) Отключить питание стенда. Оформить отчет по лабораторной работе.

Таблица 1.6

Расчет уставок дифференциальной защиты ЛЭП

Параметр	Значение
Ток небаланса в режиме нагрузки $I_{\text{нб.нагр}}$, А	
в режиме внешнего короткого замыкания $I_{\text{нб.КЗ}}$, А	
Ток небаланса $I_{\text{СЗ}}$, А	
Ток срабатывания защиты $I_{\text{СЗ}}$, А	
Ток срабатывания реле $I_{\text{СР}}$, А	

Контрольные вопросы:

- 1) Объясните принципы действия продольной дифференциальной защиты линии электропередачи?
- 2) Что такое ток небаланса дифференциальной защиты?
- 3) Как рассчитываются уставки продольных дифференциальных защит?
- 4) Почему продольная дифференциальная защита ЛЭП не реагирует на токи внешних коротких замыканий и синхронных качаний?
5. С каких трансформаторов тока в реальной трехфазной цепи подаются

вторичные токи на входы измерительных органов защиты? Привести примеры.

6. Чем объяснить наличие тока небаланса в цепях измерительной части защиты?

7. Сколько трансформаторов тока необходимо использовать на каждом конце защищаемой трехфазной линии электропередачи напряжением 35 кВ?

8. Сколько трансформаторов тока необходимо использовать на каждом конце защищаемой трехфазной линии электропередачи напряжением 220 кВ? Напряжением 110 кВ?

9. Изобразить простейшую электрическую принципиальную схему измерительной части продольной дифференциальной защиты линии электропередачи напряжением 35 кВ, выполненную на релейных элементах; сделать то же для линии напряжением выше 69 кВ.

10. Какой наиболее существенный недостаток имеют дифференциальные защиты линий электропередачи? В чем заключается наибольшая трудность при выполнении таких защит?

11. Где располагаются устройства (комплекты) продольных дифференциальных защит линий? В каких электроустановках? В каких частях этих электроустановок?

12. Каковы причины возникновения погрешностей в работе продольных дифференциальных защит линий электропередачи, за счет чего устраняется их отрицательное воздействие на работу защиты?

13. В чем количественно выражаются, состоят погрешности в работе рассматриваемой защиты?

14. Каким видом селективности обладает изучаемая в этой работе защита?

15. Каково быстродействие изучаемой в работе защиты?

Лабораторная работа №7

Дифференциальная защита трансформатора

Цель работы:

- изучить принцип действия дифференциальной защиты трансформатора.
- изучить особенности дифференциальных защит трансформаторов, связанные с необходимостью выравнивания вторичных токов по величине и компенсации фазового сдвига;
- изучить особенности настройки параметров дифференциальных реле с торможением типа ДЗТ-11;
- исследовать факторы, влияющие на селективность, зону действия и чувствительность защиты.

Общие сведения:

Дифференциальная защита трансформатора является основным видом защиты мощных силовых трансформаторов. Принцип действия защиты такой же как и у продольной дифференциальной защиты линии электропередач и основан на сравнении величин и направлений токов фаз до и после защищаемого объекта. Основным элементом защиты является дифференциальное реле, например, РНТ- 565 или ДЗТ-11. Основным достоинством дифференциальной защиты является ее высокое быстродействие, так как отключение производится без выдержки времени, и абсолютная селективность, так как защита не реагирует на внешние короткие замыкания и токи синхронных качаний. Необходимо отметить, что дифференциальная защита трансформаторов имеет ряд особенностей по сравнению с продольной дифференциальной защитой линий. Во-первых, первичные токи обмоток трансформатора не равны по величине и в общем случае не совпадают по фазе, что требует принятия соответствующих мер по выравниванию вторичных токов по величине, а также, мер по компенсации фазового сдвига между токами со стороны высокого и низкого напряжения. Первичное выравнивание токов по величине осуществляется выбором коэффициентов трансформации измерительных трансформаторов тока на стороне высокого и низкого напряжения. Для более точного выравнивания токов по величине, дифференциальное реле тока

имеет 2 уравнильные обмотки, выбор количества витков которых обеспечивает компенсацию разности токов по величине. Для компенсации фазового сдвига используются различные схемы соединения вторичных обмоток измерительных трансформаторов тока на стороне высокого и низкого напряжения. Во-вторых, в режиме высоких нагрузок и при внешних коротких замыканиях имеет место наличие тока небаланса, вызванного погрешностями измерительных трансформаторов тока, их разнотипностью, неточным подбором количества витков уравнильных обмоток и другими факторами. Для учета этих и других факторов при расчете уставок дифференциальных защит используются специально разработанные методики, которые частично используются и в данной лабораторной работе.

Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 7 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема лабораторных испытаний представляет собой трехфазную двухобмоточную трансформаторную группу, питающуюся от источника бесконечной мощности (энергосистемы) через понижающий трансформатор и линию электропередачи. Трансформатор имеет 2 выключателя со стороны первичной и вторичной обмоток Q3 и Q4 соответственно. На трансформаторе установлен комплект продольной дифференциальной защиты, подключенный на ток фазы А первичной обмотки и ток фазы А вторичной обмотки трансформатора. Схема подключения токов через входы А1 и А2 модуля ввода - вывода должна быть такой, что при работе трансформатора на свою нагрузку сигналы на входах А1 и А2 совпадали по фазе (при схеме соединения обмоток трансформатора «звезда-звезда»). В качестве аварийных режимов, предусматривается короткое замыкание со стороны первичной обмотки трансформатора, короткое замыкание со стороны вторичной обмотки трансформатора, а также короткое замыкание за трансформатором на шинах потребителя (короткое замыкание вне зоны действия защиты). Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q (на рис. 7 показаны варианты его подключения

для имитации режима трехфазного короткого замыкания в указанных выше точках).

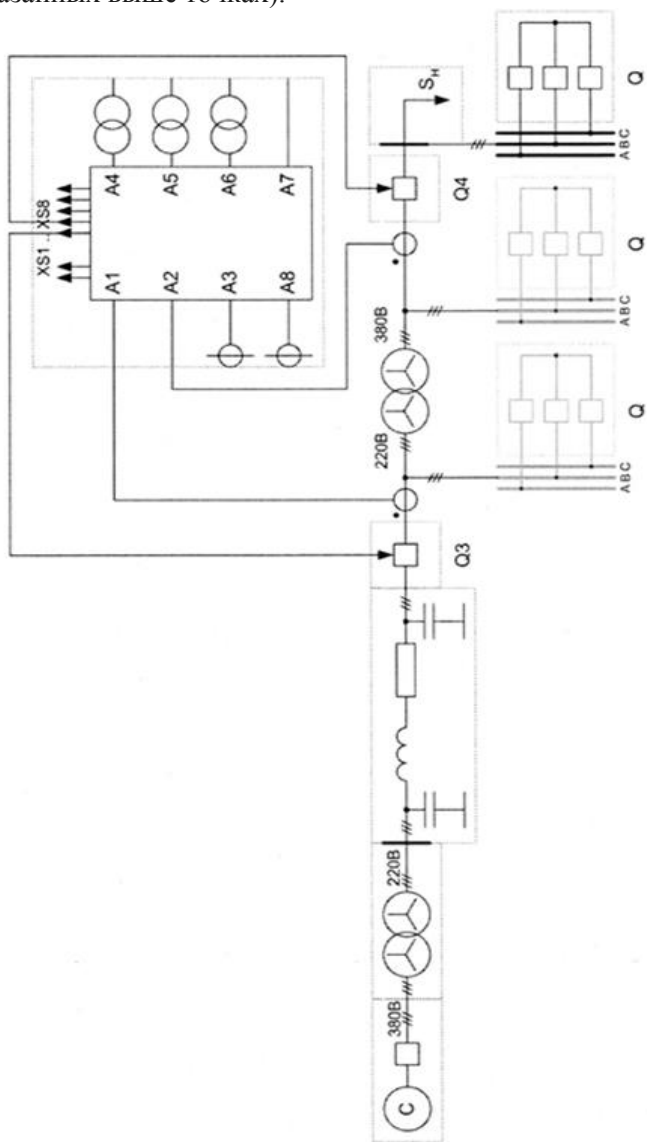


Рис. 7. Схема лабораторных испытаний

Устройство защиты контролирует разность токов первичной и вторичной обмоток и формирует управляющее воздействие на отключение выключателей. В основе защиты положено дифференциальное реле с торможением типа ДЗТ-11. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения — звезда без нулевого провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы X81 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля ввода-вывода соответственно.

2) Установить параметры линии электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) отключение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 1). Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 1.

3) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателей Q3 и Q4 в положение «Авт».

4) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №7 Дифференциальная защита трансформатора».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗТ» в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3».

Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. Аналогичным образом включить выключатель Q4. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов первичной I1 и вторичной I2 обмоток защищаемого трансформатора. Занести данные значения в таблицу 1.7.

12) Включить выключатель Q (кнопкой SB1 на лицевой панели модуля выключателя) для создания режима внешнего трехфазного короткого замыкания. Определить величины токов первичной и вторичной обмоток трансформатора в режиме внешнего короткого замыкания $I_{1К}$ и $I_{2К}$. Занести данные значения в таблицу 1.7. Отключить выключатель Q (кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя). Дистанционно отключить выключатели Q3 и Q4. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания реле по формуле: $I_{CP} = K_{отс} * I_1 / n_T$.

Коэффициент отстройки $K_{отс}$ принять равным 1,5. Коэффициент трансформации n_m трансформатора тока ТА1 принять равным 0,01. Занести значение тока срабатывания реле в таблицу 1.7.

14) Определить расчетное число витков 2 уравнильной обмотки для основной стороны (сторона ВН) по формуле:

$$\omega_{осн.расч} = F_{ср.мин} / I_{ср} = 100 / I_{ср}.$$

Выбрать число витков 2 уравнильной обмотки $\omega_{осн} = \omega_{ур2}$ как ближайшее меньшее целое значение, занести его в таблицу 1.7.

15) Определить расчетное число витков 1 уравнильной обмотки и* неосновной стороны (сторона НН1 по формуле:

$$\omega_{неосн.расч} = \omega_{осн.расч} * I_{неосн} = \omega_{осн.расч} * I_1 / I_2.$$

Выбрать число витков 1 уравнильной обмотки $\omega_{осн} = \omega_{ур1}$ как ближайшее меньшее целое значение занести его в таблицу 1.7.

16) Определить расчетное значение тока небаланса по формуле:

$$I_{НБ.РАСЧ} = I'_{НБ} + I''_{НБ} = (I_{1К} - I_{2К}) + \frac{\omega_{неосн.расч} - \omega_{неосн}}{\omega_{неосн}} * I_{2К}.$$

Занести данное значение в таблицу 1.7.

17) Определить расчетное число витков тормозной обмотки по формуле:

$$\omega_{торм.расч} = K_{отс} * \frac{I_{нб.расч} * \omega_{неосн.расч}}{I_{2К} * tga}.$$

Принять $tga = 0,75$. Выбрать число витков тормозной обмотки $\omega_{ТОРМ}$ как ближайшее целое значение, занести его в таблицу 1.7.

18) В настройках параметров защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗТ») задать рассчитанные значения числа витков тормозной и уравнильных обмоток. Перевести защиту в режим действия на отключение.

19) Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3 и Q4. Создать короткое замыкание включением выключателя 0. Убедиться в том, что защита не срабатывает при внешнем трехфазном коротком замыкании. Отключить выключатель Q, дистанционно отключить выключатели Q3 и Q4.

20) Изменить точку подключения выключателя Q для создания трехфазного короткого замыкания на стороне вторичных обмоток силового трансформатора. Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3 и Q4. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. При правильно выбранных уставках защита срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3 и Q4, их цвет становится зеленым, а прямоугольник «ДЗТ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «ДЗТ» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне

параметров защиты). Отключить короткое замыкание (выключатель Q). Остановить работу программы кнопкой «Стоп».

21) Аналогичным образом провести испытания при трехфазном коротком замыкании на стороне первичных обмоток силового трансформатора.

22) Отключить питание стенда. Оформить отчет по лабораторной работе.

Примечание:

1) Лабораторная работа может быть выполнена и при других схемах соединения обмоток силового трансформатора, например, «звезда-треугольник». В этом случае, расчет уставок защиты выполняется аналогично, но в параметрах защиты необходимо включить компенсацию фазового сдвига между токами вторичных обмоток измерительных трансформаторов тока ТА1 и ТА2.

2) Для грубого выравнивания вторичных токов измерительных трансформаторов тока ТА1 и ТА2 можно использовать различные коэффициенты трансформации, значения которых доступны в окне настроек защиты. Это может потребоваться в случаях, когда неравенство токов плеч дифференциальной защиты невозможно компенсировать только выбором соответствующего числа витков уравнивающих обмоток.

Таблица 1.7

Расчет уставок дифференциальной защиты трансформатора

Параметр	Значение
Ток нагрузки со стороны ВН1, А	
Ток нагрузки со стороны НН2, А	
Ток внешнего короткого замыкания со стороны ВН _{1К} , А	
Ток внешнего короткого замыкания со стороны НН _{2К} , А	
Ток срабатывания реле $I_{ср}$, А	
Число витков 2 уравнивающей обмотки $\omega_{осн} = \omega_{ур2}$	
Число витков 1 уравнивающей обмотки $\omega_{осн} = \omega_{ур2}$	

Расчетное значение тока небаланса $I_{\text{НБ.РАСЧ}}, \text{ А}$	
Число витков тормозной обмотки $\omega_{\text{ТОРМ}}$	

Контрольные вопросы:

1. Объяснить принцип действия дифференциальной защиты.
2. Как осуществляется компенсация фазового сдвига между вторичными токами измерительных трансформаторов тока при выполнении защиты силового трансформатора с схемой соединения звезда - треугольник?
3. Как осуществляется компенсация неравенства величин токов со стороны высокого и стороны низкого напряжения при выполнении дифференциальной защиты силового трансформатора?
4. Почему дифференциальная защита не реагирует на токи нагрузки, токи внешних коротких замыканий и токи синхронных качаний?
5. В каком режиме работы защищаемого объекта ток небаланса будет иметь максимальное значение?

Лабораторная работа №8

Дифференциальная защита шин

Цель работы:

- изучить принцип действия дифференциальной защиты шин;
- исследовать факторы, влияющие на селективность, зону действия и чувствительность защиты.

Общие сведения:

Дифференциальная защита шин применяется в качестве основного вида защиты сборных шин, имеющих двухстороннее питание. Принцип действия защиты такой же, как и у продольной дифференциальной защиты линии электропередач и основан на сравнении величин и направлений токов фаз до и после защищаемого объекта. В простейшем случае дифференциальная защита шин включается на векторную сумму токов всех присоединений. Основным достоинством

дифференциальной защиты шин является ее высокое быстродействие, так как отключение производится без выдержки времени, и абсолютная селективность, так как защита не реагирует на внешние короткие замыкания и токи синхронных качаний.

Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 8 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема лабораторных испытаний представляет собой подстанцию, получающую питание от двух линий электропередач через выключатели Q3 и Q4 от источника бесконечной мощности (энергосистемы). От подстанции через выключатель Q5 и линию электропередачи запитана нагрузки S_n . На шинах подстанции установлен комплект дифференциальной защиты подключенный на токи фазы А всех присоединений. Схема подключения токов через входы A1, A2 и A3 модуля ввода-вывода должна быть такой, что в нормальном режиме или при внешнем коротком замыкании (выключатель Q как показано на рисунке), алгебраическая сумма их мгновенных значений равнялась нулю. В качестве аварийных режимов, предусматривается короткое замыкание на защищаемых шинах, а также короткое замыкание на шинах потребителя. Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q (на рис. 1.8 показаны варианты его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в указанных выше точках). Устройство защиты контролирует векторную сумму фазных токов всех присоединений и формирует управляющее воздействие на отключение выключателей. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения — звезда без нулевого провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3, Q4 и Q5 с разъемами XS3, XS4 и XS5 модуля ввода-вывода соответственно.

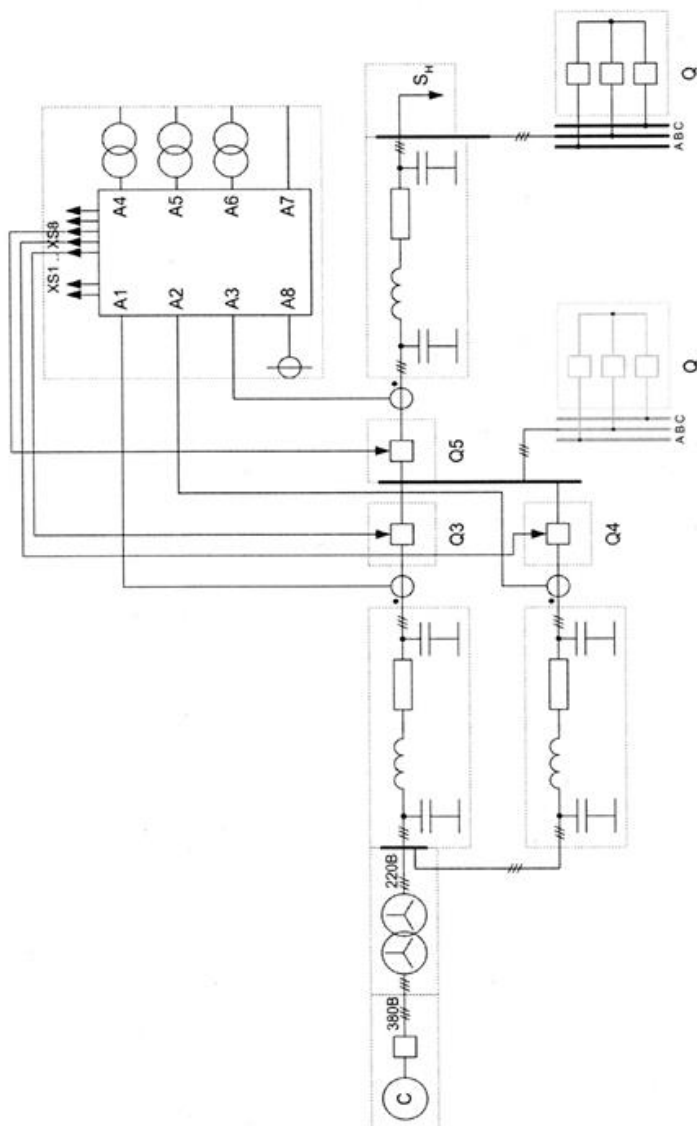


Рис.8. Схема лабораторных испытаний

- 2) Установить параметры линий электропередач:
 - а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3);
 - б) среднее значение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 2).
- 3) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателей Q3, Q4 и Q5 в положение «Авт».
- 4) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».
- 5) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q в положение «Руч».
- 6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Запуск-Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №8 Дифференциальная защита шин».
- 7) Включить питание стенда.
- 8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).
- 9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗШ», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).
- 10) Запустить программу в работу кнопкой «Запуск» или командой главного меню «Управление» - Запуск» или горячей клавишей F5.
- 11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. Аналогичным образом включить выключатели Q4 и Q5. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов всех присоединений шин I1, I2 и I3.
- 12) Открыть окно настройки защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗШ»). В таблицу 1.8

записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле (см. группу «Измерения» в окне параметр защиты) в режиме нагрузки $I_{нб.нагр}$. Включить выключатель Q (кнопкой SB1 на лицевой панели модуля выключателя) для создания режима внешнего трехфазного короткого замыкания. В таблицу 1.8 записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме внешнего короткого замыкания $I_{нб.КЗ}$. Отключить выключатель Q (кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя). Дистанционно отключить выключатели Q3, Q4 и Q5. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле:
 $I_{CЗ} = I_{нб} * K_H$.

В качестве величины тока небаланса $I_{нб}$ взять максимальное из двух измеренных ранее значений $I_{нб.нагр}$, $I_{нб.КЗ}$. Коэффициент надежности K_H принять равным 1,5. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{CР} = I_{CЗ} / n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 1. В таблицу 1.8 записать максимальную величину тока небаланса $I_{нб}$, величин тока срабатывания защиты $I_{CЗ}$ и величину тока срабатывания реле $I_{CР}$. Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты.

Таблица 1.8

Расчет уставок дифференциальной защиты шин

Параметр	Значение
Ток небаланса в режиме нагрузки $I_{нб.нагр}$, А	
Ток небаланса в режиме внешнего короткого замыкания $I_{нб.КЗ}$, А	
Тока небаланса $I_{нб}$, А	
Ток срабатывания защиты $I_{CЗ}$, А	
Ток срабатывания реле $I_{CР}$, А	

14) Перевести защиту в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команды на дистанционное включение выключателей

Q3, Q4 и Q5. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. Убедиться в том, что защита не срабатывает при внешнем трехфазном коротком замыкании. Отключить выключатель Q, дистанционно отключить выключатели Q3, Q4 и Q5. Отключить выключатель модуля трехфазной сети.

15) Изменить точку подключения выключателя Q для создания трехфазного короткого замыкания на защищаемых шинах. Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3, Q4 и Q5. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. При правильно выбранных уставках защита срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3, Q4 и Q5, их цвет становится зеленым, а прямоугольник «ДЗШ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «ДЗШ» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). Отключить короткое замыкание (выключатель Q). Остановить работу программы кнопкой «Стоп».

16) Отключить питание стенда. Оформить отчет по лабораторной работе.

Контрольные вопросы:

1. Объясните принцип действия продольной дифференциальной защиты шин?
2. Что такое ток небаланса дифференциальной защиты?
3. Как рассчитываются уставки продольных дифференциальных защит?
4. Почему продольная дифференциальная защита шин не регулирует на токи внешних коротких замыканий и синхронных качаний?

Лабораторная работа №9

Автоматическое повторное включение линии электропередачи

Цель работы:

- изучить алгоритм работы устройств АПВ на линиях с односторонним питанием;
- изучить особенности взаимодействия устройств АПВ и релейной защиты;
- изучить принципы защиты установок АПВ линий электропередач с односторонним питанием.

Общие сведения:

Автоматически повторное включение (АПВ) линии электропередачи - один из самых распространенных видов автоматики в сетях от 6 500 кВ. Повсеместное использование АПВ линий электропередач обусловлено тем, что большая часть коротких замыканий является самоустраняющимся. В этих условиях, повторное включение объекта, отключенного действием релейной защиты, позволяет восстановить нормальный режим работы электроэнергетического оборудования. Принцип действия АПВ основан на анализе положения ключа управления выключателя ЛЭП и его реального состояния. Так, если выключатель ЛЭП находится в положении "отключено", а его ключ управления в положении "ВКЛЮЧЕНО", происходит запуск АПВ и команда на включение выключателя. Для обеспечения эффективности АПВ выполняется с выдержкой времени, которая необходима для выполнения двух условий: 1) деионизации дугового промежутка в месте повреждения; 2) обеспечение готовности привода к отключению в случае возникновения повторного короткого замыкания. Для предотвращения многократных включений ЛЭП на устойчивое короткое замыкание, АПВ выполняется с фиксированной кратностью. Как правило, выполняются однократные и двухкратные АПВ. Кроме того, к АПВ предъявляется ряд дополнительных требований: 1) АПВ не должно приходить в действие при отключении ЛЭП от ключа управления; 2) АПВ должно обеспечивать ускорение действия релейной защиты включении на устойчивое короткое

замыкание; и т.д. Полный перечень требований, предъявляемых к АПВ ЛЭП представлен в ПУЭ.

Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис.9. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ.) Схемы представляют собой линию электропередачи с односторонним питанием, обеспечивающую электроснабжение потребителей S. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения - звезда без нулевого провода. Устройства релейной защиты и автоматики воздействуют на выключатель линии электропередачи Q3. В качестве устройства защиты используется максимальная токовая защита (МТЗ) с независимой выдержкой времени, в качестве устройства автоматики - автоматическое повторное включение (АПВ) линии электропередачи с односторонним питанием. Для создания короткого замыкания в конце линии электропередачи. Для дистанционного\автоматического управления выключателями необходимо соединить разъем XS1 выключателя Q3 с разъемом XS3 модуля ввода-вывода информационным кабелем типа DB9M-DB9F модуля ввода-вывода.

2) Установить параметры линии электропередачи:

а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3);

б) среднее значение поперечной составляющей (переключатель SA2, SA3 в положение 2).

3) Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 1.

4) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 и Q4 в положение "Авт".

5) Перевести переключатели SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение "Руч".

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс "DeltaProfi" (Пуск-Программы-Лабораторный комплекс-"DeltaProfi"). Открыть лабораторную работу командой "Работы - Автоматика ЭЭС - Работа №1 Автоматическое повторное включение ЛЭП".

7) Включить питание стенда,

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети)

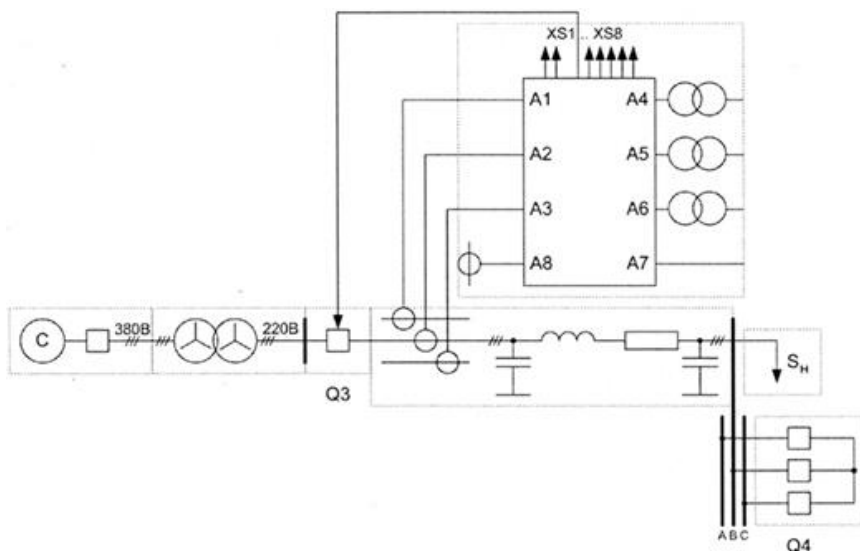


Рис.9. Схема лабораторных испытаний

9) В программе "DeltaProfi" перевести защиту в режим работы "действие на сигнал" (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике "МТЗ" к появившемуся диалоговому окну установить переключатель "Режим работы" в положение "сигнал")

10) Запустить программу в работу кнопкой "Пуск" или командой главного меню "Управление - Пуск" или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 переводом ключа управления выключателем SB3 на мнемосхеме ПК в положение "Вкл". Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет изменится на красный. При этом, на мнемосхеме отображаются

текущие величины токов фаз А, В и С линии электропередачи, в данном случае, ток трехфазной нагрузки.

12) Записать величину нагрузки тока $I_{\text{раб.макс.}}$. Отключить выключатель Q3. Остановить программу кнопкой "стоп", командой главного меню "Управление-Стоп" или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле: $I_{\text{сз}} = I_{\text{раб.макс.}} * K_n * K_z / K_{\text{воз.}}$. Коэффициент надежности K_n принять равным 1,2. Коэффициент запуска двигательной нагрузки K_z принять равным 1. Коэффициент возврата реле тока $K_{\text{воз.}}$ принять равным 0,95. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{\text{ср}} = I_{\text{сз}} * K_{\text{сх}} / nT$. Коэффициент трансформации трансформатора тока nT принять равным 1. Коэффициент схемы $K_{\text{сх}}$ определяется выбранной схемой соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле (двойной щелчок левой кнопки мыши на прямоугольнике "МТЗ", в появившемся диалоговом окне переключатель "Схема соединения обмоток ТА") Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты. Убедится в том, что в параметрах защиты выбрана схема соединения обмоток "полная звезда". Перевести защиту в режим действия на отключение.

14) Открыть диалоговое окно настройки параметров АПВ (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике "АПВ"). Установить переключатель "кратность действия" в положение "двухкратное". Переключатель "Ускорение действия релейной защиты" в положение "отключено".

15) Проверит работу АПВ при само устраняющимся коротком замыкании. Для этого запустить программный комплекс, в работу командой "Пуск". Подать команду на включение выключателя Q3. Создать короткое замыкание включением выключателя Q4 (щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме ПК). При правильно выбранных уставках защита срабатывает с заданной выдержкой времени, отключая выключатель Q3, его цвет становится зеленым, а прямоугольник "МТЗ" красным, что свидетельствует о срабатывании указанного реле защиты. Щелчок левой кнопки мыши по прямоугольнику "МТЗ" сбрасывает состояние

указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки "Сброс" в диалоговом окне параметров защиты). СРАЗУ ПОСЛЕ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ отключить короткое замыкание (выключатель Q4). АПВ с выдержкой времени подает команду на включение выключателя Q3. Восстанавливается нормальный режим работы.

16) Проверить автоматический возврат АПВ. Для этого повторить предыдущий пункт 3-4 раза. АПВ должно срабатывать в каждом случае.

17) Проверить работу АПВ при устойчивом коротком замыкании. Для этого создать короткое замыкание включением выключателя МТЗ с заданной выдержкой времени, отключает выключатель Q3, его цвет становится зеленым, а прямоугольник "МТЗ" красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты, АПВ с выдержкой времени 1 ступени включает выключатель Q3, МТЗ с заданной выдержкой времени снова отключает выключатель Q3. АПВ с выдержкой времени 2 ступени снова включает выключатель Q3. МТЗ с заданной выдержкой времени снова отключает выключатель Q3. Дальнейшая работа АПВ блокируется.

18) Отключит короткое замыкание (выключатель Q4). Квитировать АПВ переводом ключа управление выключателем SB3 в положение "откл".

19) Открыть диалоговое окно настройки параметров АПВ (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике "АПВ"). Установить переключатель "кратность действия" в положение "однократное". Переключатель "Ускорение ускорение действия релейной защиты" установить в положение "ускорение действия РЗ после АПВ".

20) Проверить работу АПВ при устойчивом коротком замыкании. Для этого подать команду на включение выключателя Q3, создать короткое замыкание включением выключателя Q4. МТЗ с заданной выдержкой времени, отключает выключатель Q3. АПВ с выдержкой времени включает выключает Q3. МТЗ отключает выключатель Q3 без выдержки времени (по цепи ускорения). Дальнейшая работа АПВ блокируется.

21) Отключить короткое замыкание (выключатель Q4). Квитировать АПВ, переводом ключа управление выключателем SB3 в положение "откл".

22) Открыть диалоговое окно настройки параметров АПВ (двойной щелчок левой кнопки мыши на прямоугольнике АПВ). Установит переключатель "кратность действия" в положение "однократное". Переключатель "Ускорение действия релейной защиты" установить в положение "ускорение действий РЗ до АПВ"

23) Проверить работу АПВ при устойчивом коротком замыкании. Определить различия в алгоритме работы МТЗ и АПВ по сравнению с предыдущим опытом. Сделать выводы о правильности действий релейной защиты и автоматики. Оформить отчет по лабораторной работе. В отчете представить временные диаграммы работы РЗиА для всех проведенных экспериментов.

Контрольные вопросы:

1. Как выбираются уставки времени срабатывания двухкратного АПВ?
2. Что такое ускорение действий релейной защиты при АПВ?
3. В чем разница ускорения действия релейной защиты ДО и ПОСЛЕ АПВ?
4. В чем преимущества ускорения действия релейной защиты до АПВ?
5. Что такое время автоматического возврата АПВ, для чего оно необходимо, из каких условий выбирается?

Лабораторная работа №10.

Автоматическое повторное включение шин

Цель работы:

- изучить особенности работы устройств автоматического повторного включения шин;
- изучить особенности взаимодействия устройств АПВ шин и устройств релейной защиты.

Общие сведения:

Автоматическое повторное включение шин является эффективным средством минимизации ущерба, вызванного перерывом электроснабжения потребителей так, как отключение выключателя питающего присоединения приводит к потере питания всех потребителей данной системы шин. Эффективность действия АПВ обусловлено тем, что существенная часть коротких замыканий является самоустраняющимся. К АПВ шин предъявляются те же требования, что и для АПВ линий электропередач, в частности: 1) АПВ выполняется с выдержкой времени, необходимой для деионизации дугового промежутка в месте повреждения; 2) АПВ выполняется с фиксированной кратностью; 3) АПВ учитывает положение ключей управления выключателями, т.е не срабатывает на отключение шин при оперативных переключениях; 4) АПВ обеспечивает ускорение действия релейной защиты при включении на устойчивое короткое замыкание и т.д. Кроме того, к АПВ шин и предъявляется и ряд специфических требований, в частности, АПВ выполняется путем последовательного включения выключателей всех присоединений, если включение очередного выключателя приводит к возникновению тока короткого замыкания, дальнейшая работа АПВ блокируется.

Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис.10 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ). Схема лабораторных испытаний представляет собой, подстанцию, получающую питание от двух линий электропередач через выключатели Q3 и Q4 от источника бесконечной мощности (энергосистемы). От подстанции через выключатель Q5 и линию электропередачи запитана нагрузка S_n . В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения - звезда без нулевого провода. На шинах подстанции установлен комплект дифференциальной защиты подключенный на токи фазы А всех присоединений. Схема подключения токов через входы A1, A2 и A3 модуля ввода-вывода должна быть такой, что в нормальном режиме или при внешнем коротком замыкании (выключатель Q как показано на рисунке), алгебраическая их

мгновенных значений равнялась нулю. В качестве аварийных режимов, предусматривается короткое замыкание на шинах потребителя. Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q (на рис.2 показаны варианты его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в указанных выше точках). Устройство защиты контролирует векторную сумму фазных токов всех присоединений и формирует управляющее воздействие на отключение выключателей. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3, Q4, Q5 разъемами XS3, XS4, XS5 модуля ввода-вывода естественно.

2) Установить параметры линии электропередачи: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) среднее значение поперечной составляющей (переключатель SA2, SA3 в положение 2).

3) Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 1.

4) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 и Q4 в положение "Авт"

5) Перевести переключатели SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение "Руч"

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс "DeltaProfi" (Пуск-Программы-Лабораторный комплекс-"DeltaProfi"). Открыть лабораторную работу командой "Работы - Автоматика ЭЭС - Работа №1 Автоматическое повторное включение ЛЭП"

7) Включить питание стенда,

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети)

9) В программе "DeltaProfi" перевести защиту в режим работы "действие на сигнал" (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике "МТЗ" к появившемуся диалоговому окну установить переключатель "Режим работы" в положение "сигнал")

10) Запустить программу в работу кнопкой "Пуск" или командой главного меню "Управление - Пуск" или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 переводом ключа управления выключателем SB3 в положение "вкл". Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет изменится на красный. Аналогичным образом включить выключатели Q4 и Q5. При этом на мнемосхеме отображаются текущие величины токов всех присоединений шин. 11, 12 и 13.

12) Открыть окно настройки защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике "ДЗШ"). Записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле (см. группу "Измерения" в окне параметров защиты) в режиме нагрузки *I_{уб.нагр.}*. Включить выключатель Q (кнопкой SB1 на лицевой панели модуля выключателя) для создания режима внешнего трехфазного короткого замыкания *I_{уб.Кз.}*. Записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме внешнего короткого замыкания I. Отключить выключатель Q (кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя). Дистанционно отключить выключатели Q3, Q4 и Q5. Остановить программу кнопкой "Стоп", командой главного меню "Управление - Стоп" или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле $I_{сз} = I_{уб} * K_n$. В качестве величины тока небаланса *I_{уб}* взять максимальное из двух измеренных ранее значений *I_{уб.нагр.}*, *I_{уб.Кз.}*. Коэффициент надежности *K_н* принять равным 1,5. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{ср} = I_{сз} * I_{nt}$. Коэффициент трансформации трансформатора тока *nt* принять равным *I_{уб}*. Записать максимальную величину тока небаланса *I_{уб}*, величину тока срабатывания защиты *I_{сз}* и величины тока срабатывания реле *I_{ср}*. Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты.

14) Перевести дифференциальную защиту шин в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой "Пуск". Подать команды на дистанционное

включение выключателей Q3, Q4 и Q5. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. Убедиться в том, что защита не срабатывает при внешнем трехфазном коротком замыкании. Отключить выключатель Q, дистанционно отключить выключателей Q3, Q4 и Q5. Обратить внимание на то, что АПВ шин не срабатывает при оперативных переключениях.

15) Отключить выключатель модуля трехфазной сети. Изменить точку подключения выключателя Q для создания трехфазного короткого замыкания на защищаемых шинах. Включить выключатель модуля трехфазной сети.

16) Провести испытания АПВ шин при самоустраняющемся коротком замыкании. Для этого выполнить следующие действия. Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3, Q4 и Q5. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. При правильно выбранных уставках защиты срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3, Q4 и Q5, их цвет становится зеленым, а прямоугольник "ДЗШ" красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. СРАЗУ ПОСЛЕ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ отключить короткое замыкание (кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя Q). АПВ с выдержкой времени включает выключатели всех присоединений. Щелчком левой кнопки мыши по прямоугольникам "ДЗШ" и "АПВШ" сбросить состояние указательных реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки "Сброс" в диалоговом окне параметров защиты и автоматики).

17) Проверить учет положения ключей управления выключателями. Для этого подать команду на отключение выключателя Q3 или Q4. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. При правильно выбранных уставках защита срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3, Q4 и Q5, их цвет становится зеленым а прямоугольник "ДЗШ" красным. СРАЗУ ПОСЛЕ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ отключить короткое замыкание (кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя Q). АПВ с выдержкой времени включает выключатели отключенные

действием ДЗШ. Обратить внимание, что выключатель одного из питающих присоединений (Q3 или Q4), находившийся в отключенном состоянии, не включается действием АПВ. Щелчком левой кнопки мыши по прямоугольникам "ДЗШ" и "АПВШ" сбросить состояние указательных реле (аналогичный эффект достигается при нажатии кнопки "Сброс" в диалоговом окне параметров защиты и автоматики).

18) Провести испытания АПВ шин при устойчивом коротком замыкании. Для этого выполнить следующие действия. Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3, Q4 и Q5. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. При правильно выбранных уставках защиты срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3, Q4 и Q5, их цвет становится зеленым, а прямоугольник "ДЗШ" красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. АПВ с выдержкой времени включает выключатель Q3, при этом возникает ток короткого замыкания и выключатель Q3 отключается действием ДЗШ. Дальнейшая работа АПВ блокируется.

19. Остановить работу программу с кнопкой "Стоп". Отключить питание стенда. Оформить отчет о лабораторной работе.

Контрольные вопросы:

1. Объясните назначение автоматического повторного включения шин?
2. Для чего АПВ шин выполняется с выдержкой времени?
3. Что общего и в чем различия между АПВ шин и АПВ линий электропередач?

Лабораторная работа №11

Автоматическое включение резерва питающего присоединения

Цель работы:

- изучить принцип действия и особенности работы устройств автоматического включения резерва питающего присоединения.

Общие сведения:

Автоматическое включение резерва (АВР) питающего присоединения получило широкое распространение в распределительных сетях с односторонним питанием. Применение АВР целесообразно на подстанциях, имеющих два независимых источника питания, но работающих по односторонней схеме. Такая ситуация может иметь место в случаях, когда: 1) источники питания не допускают режима параллельной работы на общую нагрузку; 2) устройства релейной защиты и автоматики распределительной сети спроектированы с расчетом на радиальную схему электроснабжения, тогда включение источников на параллельную работу приведет к созданию режима сети с двусторонним питанием и потребует модернизации всего комплекса релейной защиты и автоматики; 3) сохранение радиальной схемы электроснабжения необходимо для снижения токов коротких замыканий, удобства регулирования режима работы сети по напряжениям в узлах и перетоком активной и реактивной мощности.

Недостатком такого решения является то, что при исчезновении питания от одного из источников (рабочего источника), потребители теряют питание на время оперативных переключений (перевода потребителей на резервный источник питания). Применение АВР позволяет сократить время перерыва электроснабжения потребителей, так как перевод потребителей с рабочего на резервный источник питания осуществляется автоматически.

К устройствам АВР предъявляются следующие основные требования: 1) АВР должно приходить в действие при исчезновении напряжения на шинах потребителя по любой

причине, в том числе при аварийном, ошибочном или самопроизвольном отключении выключателя рабочего источника питания; 2) Включение резервного источника осуществляется только после отключения рабочего источника питания, а так же предотвращает включение резервного источника на короткое замыкание в цепях рабочего источника питания; 3) АВР срабатывает даже если напряжение на шинах потребителя исчезло по причине короткого замыкания на шинах (т.е. допускается включение резервного источника на короткое замыкание); 4) АВР обеспечивает ускорение действия релейной защиты при включении резервного источника на устойчивое короткое замыкание и т.д.

Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 11 (Все модули стенда должны быть отключены!). Схема лабораторных испытаний представляет собой подстанцию, получающую питание от двух линий электропередач через выключатели Q3 и Q4 от источника бесконечной возможности (энергосистемы). От шин подстанции питается нагрузка Sn. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения – звезда без нулевого провода. Выключатель Q3 является выключателем рабочего источника питания. Выключатель Q4 является выключателем резервного источника питания. Выключатель Q4 является выключателем резервного источника питания. В нормальном режиме выключатель Q3 включен, а выключатель Q4 отключен. Исчезновение питания на шинах потребителя контролируется измерительным трансформатором напряжения, в качестве которого используется датчик напряжения A4 модуля ввода – вывода. Для имитации исчезновения напряжения у рабочего источника используется выключатель Q. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля ввода – вывода соответственно.

2) Установить параметры линий электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) среднее значение

поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 2)

3) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателей Q3 и Q4 в положение “Авт”.

4) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение “Руч”.

5) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q в положение “Руч”.

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – автоматика ЭЭС – Работа №3 АВР питающего присоединения».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) Включить выключатель Q (кнопка SB1 на лицевой панели модуля выключателя).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 переводом ключа управления SB3 в положение «вкл.». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый – отключен, красный – включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный.

12) Проверить действие АВР при ошибочном отключении выключателя рабочего источника питания. Для этого, подать команду на отключение выключателя Q3 переводом ключа управления SB3 в положение «откл.». АВР срабатывает и включает выключатель резервного источника Q4.

13) Восстановить нормальный режим работы (перевести питание потребителей на рабочий источник питания). Для этого, отключить резервный источник питания переводом ключа управления SB4 в положение «вкл.», а затем в положение «откл.». Перевести ключ управления SB3 в положение «вкл.».

14) Проверить действие АВР при исчезновении напряжения на рабочем источнике питания. Для этого, отключить выключатель Q кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя. АВР срабатывает, отключая выключатель рабочего источника Q3 и включая выключатель резервного источника Q4.

15) Остановить работу программы кнопкой «стоп». Отключить питание стенда. Оформить отчет по лабораторной работе.

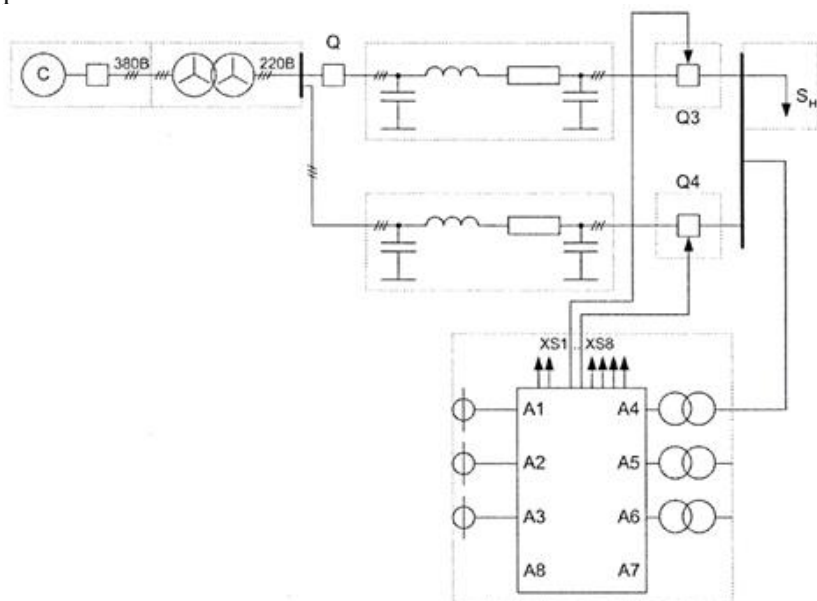


Рис.11 Схема лабораторных испытаний

Контрольные вопросы:

1. Объясните назначение устройств автоматического включения резерва?
2. Какие требования предъявляются к устройствам АВР?
3. Как выбираются уставки срабатывания АВР?
4. Перечислите случаи, в которых АВР должно приходить в действие?

5. В чем разница между АВР одностороннего и двухстороннего действия?

Лабораторная работа №12

Автоматическое включение резерва секционного выключателя

Цель работы:

-Изучить принцип действия и особенности работы устройств автоматического включения резерва секционного выключателя.

Общие сведения:

Автоматическое включение резерва (АВР) секционных выключателей широко применяется на двух трансформаторных понизительных подстанциях распределительных сетей. В таких схемах электроснабжения каждый силовой трансформатор обеспечивает питание своей группы потребителей, подключенных к сборным шинам распределительного устройства (РУ) низкого напряжения, что обеспечивает снижение величин токов короткого замыкания, упрощает выбор коммутационной аппаратуры и т.п. Недостатком такого решения является перерыв электроснабжения части потребителей одной из секций сборных шин низкого напряжения при аварийном отключении одного из трансформаторов. Поскольку, при проектировании подстанций силовые трансформаторы выбираются из условия обеспечения электроснабжения потребителей всей подстанции, оставшийся в работе трансформаторов с 40% перегрузкой может обеспечивать питание всех потребителей в течении определенного времени. В этой ситуации, восстановление электроснабжения потребителей осуществляется оперативными переключениями, в частности, отключением вводного выключателя потерявшей питание секции шин и включением секционного выключателя (СВ) для перевода потребителей на оставшийся в работе силовой трансформатор. Применение АВР секционного выключателя обеспечивает выполнение данной операции автоматически, что

существенно сокращает время перерыва электроснабжения потребителей.

К устройствам АВР СВ предъявляются те же требования, что и к АВР питающих присоединений, а именно: 1) АВР должно приходить в действие при исчезновении напряжения на шинах потребителя по любой причине, в том числе при аварийном, ошибочном или самопроизвольном отключении вводного выключателя; 2) включение секционного выключателя должно осуществляется только после отключения вводного выключателя; 3) АВР должно срабатывать даже если напряжение на шинах потребителя исчезло по причине короткого замыкания на шинах; 4) АВР должно обеспечивать ускорение действия релейной защиты при включении на устойчивое короткое замыкание и т.д.

Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 12 (ВСЕ модули стенда должна быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема лабораторных испытаний представляет собой двух трансформаторную подстанцию, получающую питание от источника бесконечной мощности (модуль трехфазной сети). Каждый трансформатор через вводный выключатель Q3 или Q4 обеспечивает питание своей секции шин с нагрузкой. В качестве одной из нагрузок используется модуль активной нагрузки, в качестве другой – модуль индуктивной нагрузки. Схема соединения каждой нагрузки – звезда без нулевого провода. Секционный выключатель Q5 в нормальном режиме работы отключен, т.е. трансформаторы работают раздельно, каждый на свою нагрузку. Исчезновение напряжения на каждой секции шин контролируется измерительными трансформаторами напряжения TV1 и TV2, в качестве которых используются датчики напряжения A4 и A5 модуля ввода-вывода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3, Q4, Q5 с разъемами XS3, XS4, XS5 модуля ввода-вывода соответственно.

2) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателей Q3, Q4 и Q5 в положение “Авт”.

3) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение “Руч”

4) На персональном компьютере запустить программный комплекс "DeltaProfi" (Пуск-Программы-Лабораторный комплекс-"DeltaProfi"). Открыть лабораторную работу командой "Работы - Автоматика ЭЭС - Работа №4АВР секционного выключателя»

5) Включить питание стенда,

6) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети)

7) Запустить программу в работу кнопкой "Пуск" или командой главного меню "Управление - Пуск" или горячей клавишей F5.

8) Дистанционно включить выключатель Q3 переводом ключа управления выключателем SB3 на мнемосхеме ПК в положение "Вкл". Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет изменится на красный.

9) Ввести в действие АВР. Для этого. Открыть окно настройки параметров АВР двойной щелчок левой кнопки мыши на прямоугольнике «АВРСВ») и перевести переключатель в «Режим работы» в положение «Включено».

10) Проверить действие АВР при исчезновении напряжения на первой секции шин. Для этого дистанционно отключить вводный выключатель Q3 щелчком ЛКМ по изображению выключателя на мнемосхеме. АВР срабатывает и включает секционный выключатель Q5.

11) Восстановить нормальный режим работы. Для этого вывести АВР из работы (перевести переключатель «Режим работы» в положение «отключено» в окне настройки параметров АВРСВ, дистанционно отключить выключатель Q5. и включить выключатель Q3, ввести АВР в работу (перевести переключатель «Режим работы» в положение «отключено» в окне настройки параметров АВРСВ).

12) Проверить в действие АВР при исчезновении напряжения на второй секции шин. Для этого дистанционно отключить вводной выключатель Q4 щелчком ЛКМ по

изображению выключателя на мнемосхеме. АВР срабатывает и включает секционный выключатель Q5.

13) Остановить работу программы кнопкой «Стоп». Отключить питание стенда. Оформить отчет о лабораторной работе.

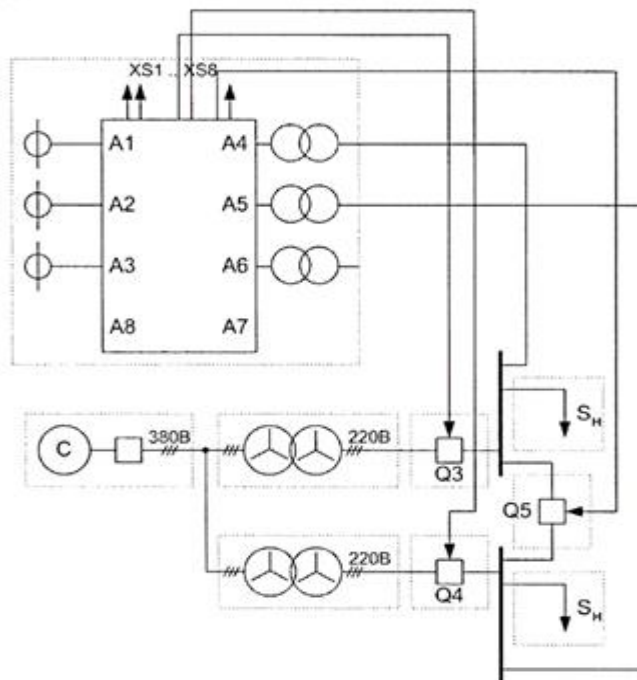


Рис.12. Схема лабораторных испытаний

Контрольные вопросы:

1. Объясните назначение устройств автоматического включения резерва?
2. Какие требования предъявляются к устройствам АВР?
3. Как выбираются уставки срабатывания АВР?
4. Перечислите случаи, в которых АВР секционного выключателя должно приходить в действие?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В. А. Андреев. – М.: Высш. шк., 2006.- 639 с.
2. А. Л. Дубов, В.А. Митченко Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / А. Л. Дубов – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 52 с.
3. Техническое описание «Лабораторный стенд «Релейная защита, автоматика и качество электроэнергетических систем»/ Челябинск: НПП «Учтех-Профи» ЮурГУ, 2015. – 31 с.
4. Дьяков А.Ф. Основы проектирования релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем./ -М.: Издательство МЭИ, 2000. -243 с.
5. Платонов В. В. Специальные вопросы проектирования релейной защиты электрических сетей энергосистем : Учеб. пособие / В. В. Платонов, Г. Н. Чмыхалов; - Новочеркасск : Южно-Рос. гос. техн. ун-т, 2000. - 124 с
6. Шаббад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей/М.А. Шаббад – Л.: Энергоатомиздат, 1985 г. -296 с.
7. Мусаэлян Э.С. Справочник по наладке вторичных цепей электростанций и подстанций / Э.С. Мусаэлян – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 194 с.
8. Беркович М. А. и др. Основы техники релейной защиты / М. А. Беркович, В. В. Молчанов, В. А. Семенов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. -376 с.
9. Чернобровов Н. В. Релейная защита / Н. В. Чернобровов. - М., «Энергия», 1974. 680 с.

Учебное издание

Дансүрюн Дадар-оол Хертекович

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Лабораторный практикум

Редактор – *А.Х. Хертек*
Дизайн обложки – *К.К. Сарыглар*

Сдано в набор: 30.03.2018.

Подписано в печать: 24.05.2018.

Формат бумаги 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная.

Физ. печ.л. 5,3. Усл. печ.л. 4,9.

Заказ № 1394. Тираж 50 экз.

667000, г. Кызыл, Ленина, 36
Тувинский государственный университет
Издательство ТувГУ