



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Интеллектуальные электрические сети»

Методические указания
к лабораторным работам
по дисциплине

**«Проектирование релейной защиты
систем электроснабжения»**

Часть 1. Релейная защита линий электропередач

Автор
Шелест В. А.

Ростов-на-Дону, 2021

Аннотация

Методические указания предназначены для подготовки бакалавров всех форм обучения по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и профилю «Автоматизированные распределительные электрические сети». Методические указания состоят из двух частей: «Релейная защита линий электропередач» и «Релейная защита силового электрооборудования».

Рецензент: д.т.н., профессор Цыгулев Н.И.

Автор

к.т.н., доцент кафедры «ИЭС» Шелест В.А.





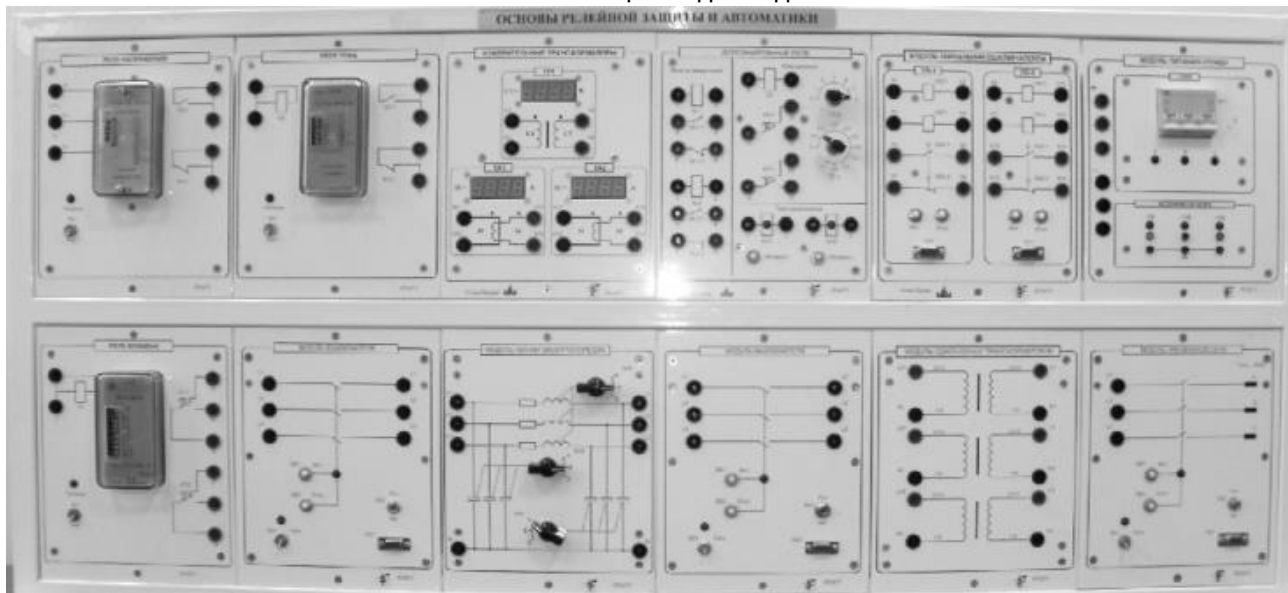
Оглавление

Введение	4
ОБЩИЙ ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	5
Лабораторная работа № 1	6
ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА.....	6
Лабораторная работа № 2	11
МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С НЕЗАВИСИМОЙ ВЫДЕРЖКОЙ ВРЕМЕНИ.....	11
Лабораторная работа № 3	16
МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С ПУСКОМ ПО НАПРЯЖЕНИЮ	16
Лабораторная работа № 4	21
ПРОДОЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.....	21
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	26

ВВЕДЕНИЕ

В настоящих указаниях рассматривается выполнение лабораторных работ на стендах «Учтех-Профи».

Рис. 1. Общий вид стенда.



Стенд состоит из 12 модулей с типовым размером 200x248. Для удобства работы модули на стенде размещены следующим образом:

а) верхний ряд справа налево:

- модуль питания стенда (МПС);
- модуль управления выключателями (МУВ);
- модуль дополнительных реле (МДР);
- модуль измерительных трансформаторов (МИТ);
- модуль реле тока (МРТ);
- модуль реле напряжения (МРН);

б) нижний ряд справа налево:

- модуль трехфазной сети (МТС);
- модуль однофазных трансформаторов (МОТ);
- модуль выключателя 3 (5) – для разных работ (МВ);
- модуль линии электропередач (МЛЭ);
- модуль выключателя 6. (МВ);
- модуль реле времени (МРВ).

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.

Дисплеи амперметра и вольтметра модуля измерительных трансформаторов отображают значения тока и напряжения в первичных обмотках.

ОБЩИЙ ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.

1. При выполнении лабораторных работ необходимо соблюдать правила техники безопасности и охраны труда.
 2. Лабораторные работы состоят из 2 частей:
 - Релейная защита линий электропередач.
 - Релейная защита силового электрооборудования.
 3. Индивидуальные задания по практическим занятиям выдаются преподавателем.
 4. Рекомендуется отчеты по лабораторным работам печатать (формат А4). Текст и формулы набираются в редакторе Word. Рисунки и графики выполняются в графическом редакторе.
 5. Необходимо использовать титульный лист установленного образца.
 6. Страницы отчета по всем лабораторным работам двух частей изучаемой дисциплины помещаются в один файл *.docx. Название файлу присваивается согласно примеру: «ЭЛ42_ПетровИК_ЛР_ПрРЗ_СЭС.docx». При несоблюдении этого требования отчет попадает в спам.
 7. При защите лабораторных работ необходимо показать знание материала, изложенного в отчете.
- Без защищенных выполненных лабораторных работ студент к экзамену не допускается.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА

1.Цель работы

Изучить принцип действия и схемотехнику простейшей токовой защиты — токовой отсечки, выполненной на базе статических полупроводниковых реле, изучить методы расчета уставок и провести испытания защиты.

2.Общие сведения о токовой отсечке

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 (рис.1.1).

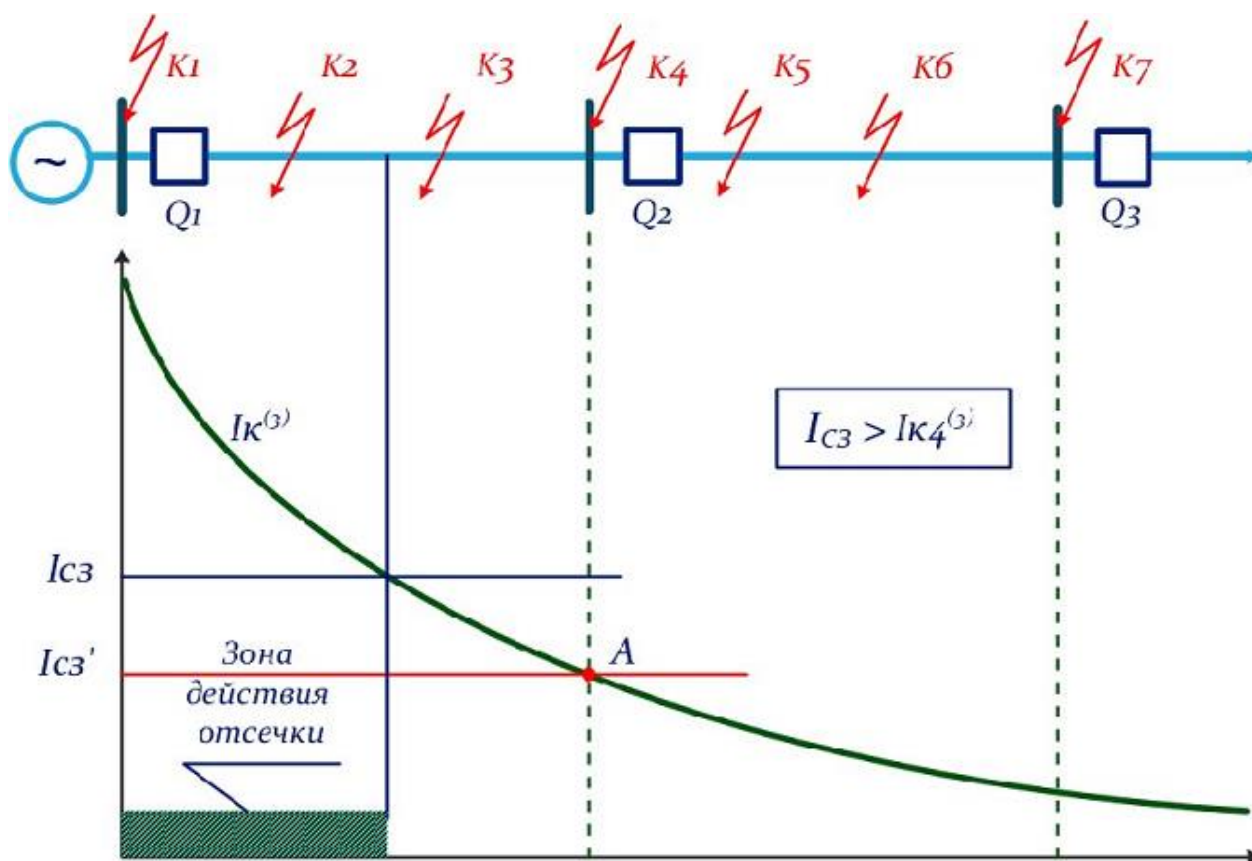


Рис 1.1 Принцип действия токовой отсечки на линии с односторонним питанием.

На этом рисунке кривая показывает изменение тока трехфазного короткого замыкания в зависимости от расстояния до точки короткого замыкания. Кривая построена на основании выражения:

$$I_k^{(3)} = \frac{E_\phi}{x_c + x_0 l_k},$$

где E_ϕ - фазная э.д.с. системы;

x_c - сопротивление системы;

x_0 - удельное сопротивление 1 км линии;

l_k - расстояние до места короткого замыкания.

Для того чтобы защита работала при коротких замыканиях на своей линии и не работала на смежной линии, достаточно выполнить условие отстройки защиты от тока трехфазного короткого замыкания в конце 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 междуфазных коротких замыканий используется двухфазная схема «неполная звезда» (рис. 1.2). 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.

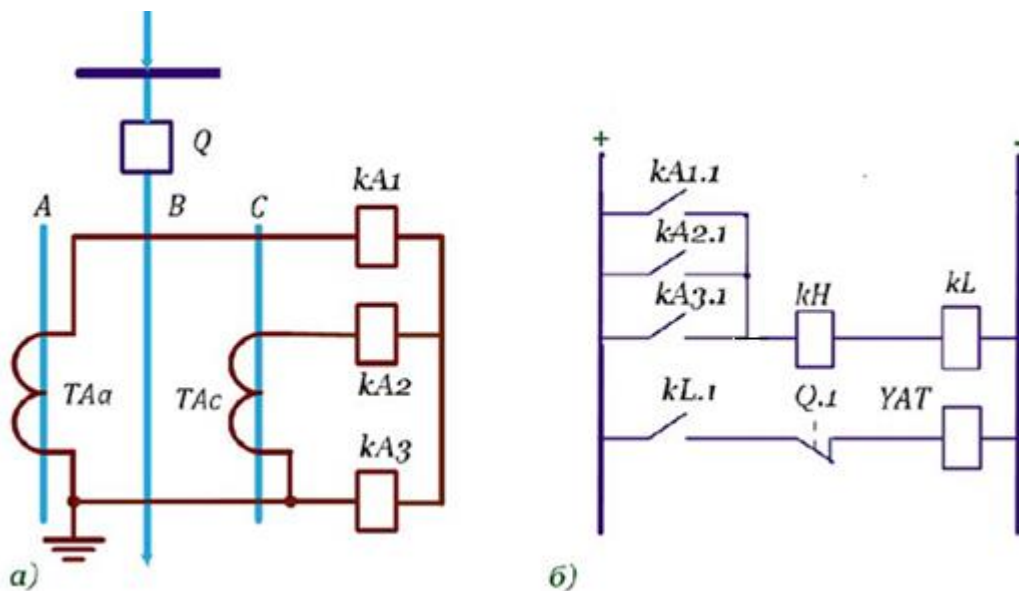


Рис. 1.2. Схема защиты с токовой отсечкой.

а) схема цепей переменного тока; б) схема цепей постоянного тока

3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с принципом действия, схемами и методами расчета уставок мгновенных токовых отсечек на линиях с односторонним питанием в сети с

изолированной нейтралью.

3.2. Ответить на контрольные вопросы.

3.3. Собрать схему испытания защиты, показанную на рис. 1.3. Схема защищаемого объекта представляет собой трехфазный источник питания 1 (модуль трехфазной сети) через трансформатор связи 2, выключатель 3 и измерительный трансформатор тока 4 запитывающий линию электропередачи 5. Трехфазное короткое замыкание создается с помощью выключателя 6. Схема защиты содержит пусковое реле тока KA1, включенное на ток вторичной обмотки измерительного трансформатора ТА1. В качестве источника оперативного тока (клеммы «+» и «-») использовать клеммы оперативного тока, расположенные на модуле питания стенда. Промежуточное реле KL1 и указательное реле KH1 находятся в модуле «Дополнительные реле». Модуль управления выключателями, обеспечивает ручное и/или автоматическое управление трехфазными выключателями стенда. Для использования данного модуля необходимо соединить разъем XS1 выключателя с соответствующим разъемом модуля управления выключателями стандартным кабелем DB9-DB9 и перевести переключатель режима управления выключателем в положение «Авт». После этого, можно подавать команды на включение/отключение выключателя вручную кнопками с модуля управления выключателями или автоматически, подавая ток в электромагниты включения/отключения, расположенные на этом же модуле. В данной схеме используется обмотка электромагнита отключения YAT1 и блок-контакт выключателя SQ1.1 модуля управления выключателями.

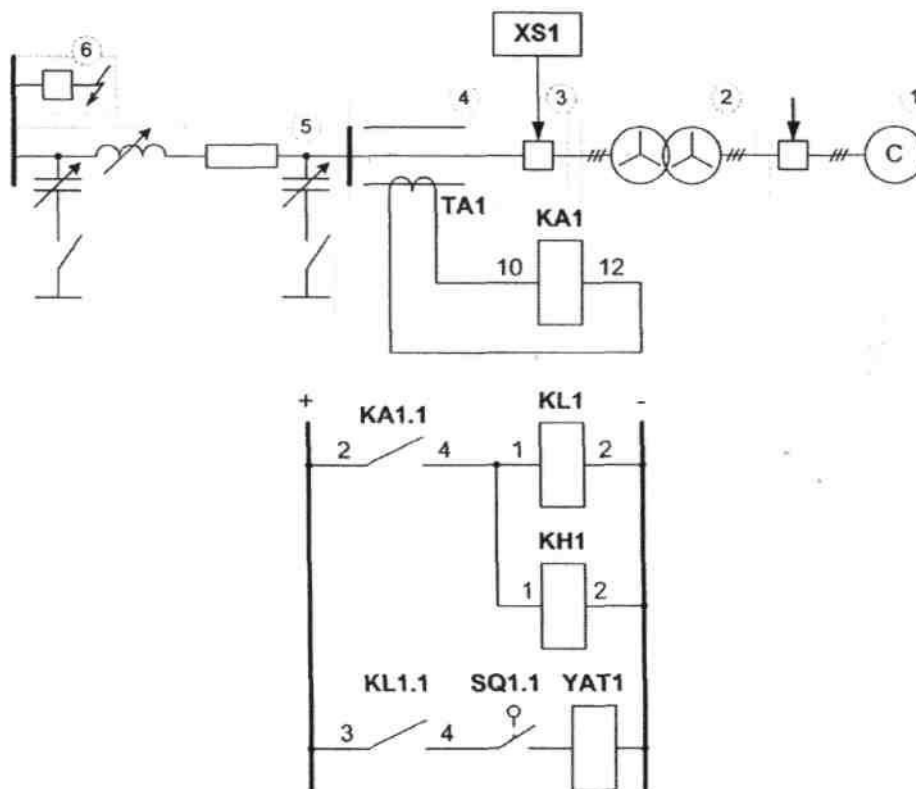


Рис. 1.3. Схема испытания защиты «Токовая отсечка»

3.4. Переключатели режима управления выключателями модулей 1, 3 и 6 перевести в положение «Руч». Установить параметры линии электропередачи: максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); минимальное значение поперечной составляющей (переключатель SA2 в положение 2)

3.5. Включить питание стенда автоматом QF1 модуля питания стенда. Включить питание модуля трехфазной сети переключателем SA1 «Сеть». Нажать кнопки «Вкл» модуля трехфазной сети 1 и выключателя 3. Включить выключатель 6 для создания режима трехфазного короткого замыкания в конце линии. Определить величину тока трёхфазного короткого замыкания $I_{кз}$ по показаниям амперметра, включенного в цепь первичной обмотки измерительного трансформатора тока ТА1 модуля измерительных трансформаторов. Отключить выключатель 6, выключатель 3 и модуль трехфазной сети 1.

3.6. Рассчитать ток срабатывания, реле по формуле:

$$I_{ср} = I_{кз} * K_H / n_T$$

Коэффициент надежности K_H принять равным 1,2. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 2. Определить уставку срабатывания пускового реле тока КА1, выбрав ближайшее большее значение из диапазона возможных уставок реле.

3.7. На лицевой панели реле тока КА1 установить выбранный ток срабатывания реле. Перевести переключатель SA1 модуля линии электропередачи в положение 1. Перевести переключатель режима управления выключателем 3 в положение «Авт».

3.8. Включить питание модуля реле тока переключателем «Питание» на лицевой панели модуля. Включить выключатель модуля трехфазной сети. Подать команду на включение выключателя линии электропередачи с кнопки модуля управления выключателями. Создать короткое замыкание, включив выключатель 6. При правильно выбранных уставках реле, защита должна сработать отключив выключатель 3. Устранить короткое замыкание, отключив выключатель 6.

3.9. Перевести переключатель SA1 модуля линии электропередачи в положение 2. Подать команду на включение выключателя линии электропередачи с кнопки модуля управления выключателями. Создать короткое замыкание включением выключателя 6. Зафиксировать факт срабатывания (или несрабатывания) защиты. В случае несрабатывания защиты отключить выключатель 3 линии вручную кнопкой с модуля управления выключателями. Устранить короткое замыкание, отключив выключатель 6.

3.10. Перевести переключатель SA1 модуля линии электропередачи в положение 3. Подать команду на включение выключателя линии электропередачи с кнопки модуля управления выключателями. Создать короткое замыкание, включив выключатель 6. При правильно выбранных уставках реле, защита не должна срабатывать. В случае несрабатывания защиты отключить выключатель 3 линии вручную кнопкой с модуля управления выключателями. Устранить короткое замыкание, отключив выключатель 6.

3.11. Отключить питание модуля реле тока переключателем «Питание» на лицевой панели модуля. Отключить питание модуля трехфазной сети переключателем SA1 «Сеть». Отключить питание стенда автоматом QF1 модуля питания стенда. Объяснить полученные результаты и сделать соответствующие выводы. Оформить отчет по лабораторной работе.

4. Фотографирование стенда

Для отчета по выполнению лабораторной работы необходимо сделать фотоснимок стенда в рабочем состоянии, т.е. со всеми подключениями блоков согласно рис. 1.3.

5. Подготовка доклада на конференцию (по желанию).

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по токовым отсечкам и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительный анализ токовых отсечек по различным источникам информации.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

6. Контрольные вопросы

6.1. Что такое зона действия отсечки?

6.2. Как выбирается уставка срабатывания отсечки?

6.3. Назовите основные достоинства и недостатки токовой отсечки?

6.4. Почему при выборе тока срабатывания отсечки не учитывается коэффициент возврата токового реле?

6.5. Какими элементами определяется время отключения линии при действии токовой отсечки?

6.6. Как выставить уставки на лицевой панели измерительного токового реле, используемого в качестве измерительного органа в проводимой работе?

6.7. В чем разница между током срабатывания защиты и током срабатывания (уставкой) измерительного (пускового) органа защиты?

7. Содержание отчета

7.1. Наименование лабораторной работы.

7.2. Цель лабораторной работы.

7.3. Схема лабораторной работы, реализуемая на стенде.

7.4. Результаты расчета уставок.

7.5. Краткий перечень действий при выполнении лабораторной работы.

7.6. Фотография стенда в рабочем состоянии.

7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С НЕЗАВИСИМОЙ ВЫДЕРЖКОЙ ВРЕМЕНИ

1. Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени, изучить методы расчета уставок защиты, провести испытания защиты.

2. Общие сведения о максимальной токовой защите с независимой выдержкой времени

Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени - одна из самых распространённых 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 (рис. 2.1).

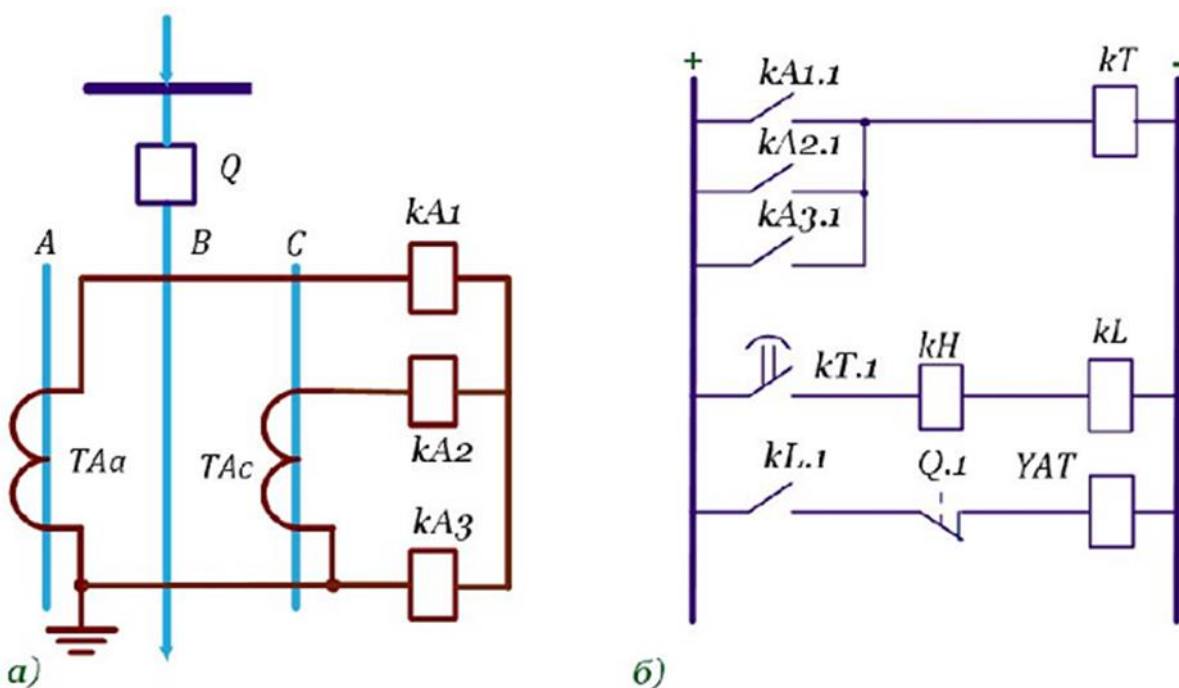


Рис. 2.1. Схема максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени:
а) схема цепей переменного тока; б) схема цепей постоянного тока

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 (рис. 2.1).

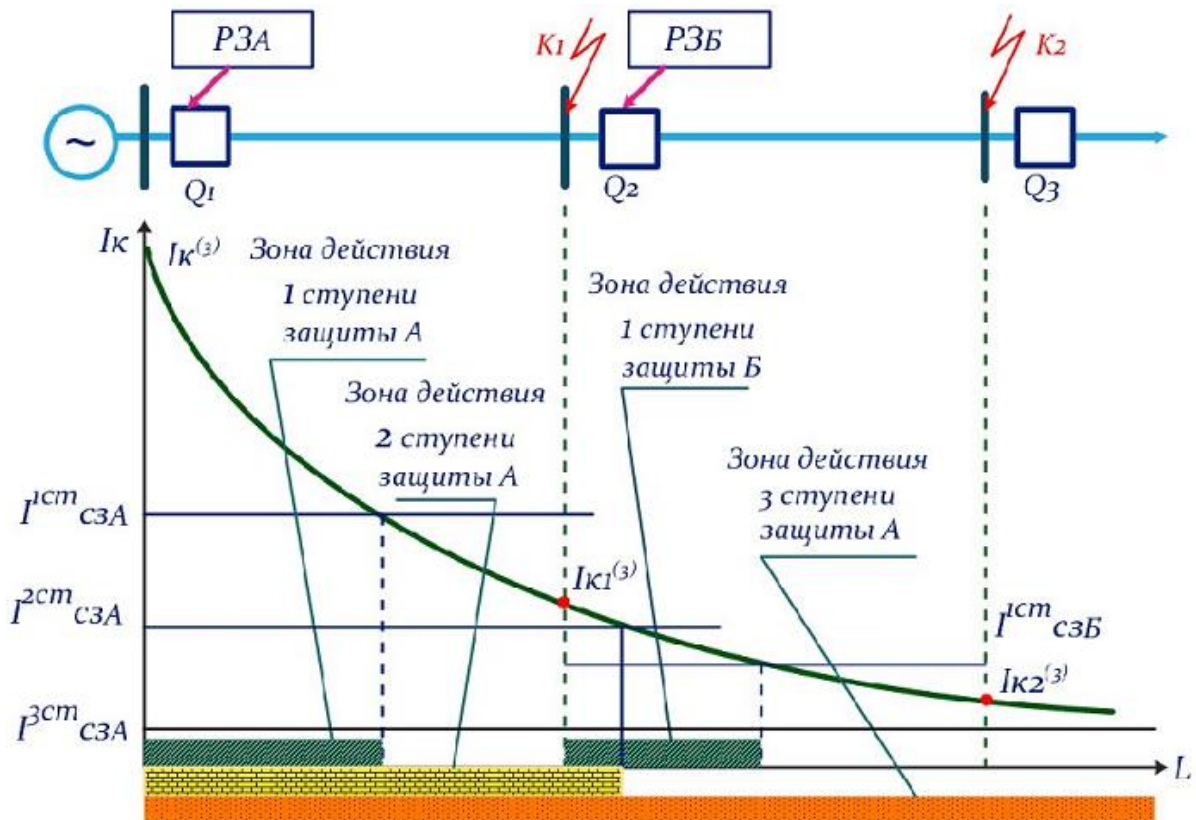


Рис. 2.2. Принцип действия токовой ступенчатой защиты

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. Основной недостаток защиты - слишком большие выдержки времени при коротких замыканиях вблизи источников питания, что ограничивает возможности применения защиты в сложных распределительных сетях.

3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с принципом действия, схемами и методами расчета уставок максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени.

3.2. Ответить на контрольные вопросы.

3.3. Собрать схему испытания защиты, показанную на рис. 2.3. Схема защищаемого объекта представляет собой трехфазный источник питания 1 (модуль трехфазной сети) питающий через трансформатор связи 2, выключатель 3 и измерительный трансформатор тока 4 линию электропередачи 5. Трехфазное короткое замыкание создается с помощью выключателя 6. Схема защиты содержит пусковое реле тока КА1, включенное на ток вторичной обмотки измерительного трансформатора ТА1. В качестве источника оперативного тока (клеммы «+» и «-») использовать клеммы оперативного тока, расположенные на модуле питания стенда. Промежуточное реле КЛ1 и указательное реле КН1 находятся в модуле «Дополнительные реле». Модуль управления выключателями, обеспечивает ручное и/или автоматическое управление трехфазными выключателями стенда. Для использования данного модуля необходимо соединить разъем XS1 выключателя с соответствующим разъемом модуля управления выключателями стандартным кабелем DB9-DB9 и перевести переключатель режима

управления выключателем в положение «Авт». После этого, можно подавать команды на включение/отключение выключателя вручную кнопками с модуля управления выключателями или автоматически, подавая ток в электромагниты включения/отключения, расположенные на этом же модуле. В данной схеме используется обмотка электромагнита отключения YAT1 и блок-контакт выключателя SQ1.1 модуля управления выключателями.

3.4. Переключатели режима управления выключателями модулей 1 и 6 перевести в положение «Руч». Переключатель режима управления выключателем 3 перевести в положение «Авт». Установить параметры линии электропередачи: максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); минимальное значение поперечной составляющей (переключатель SA2 в положение 2).

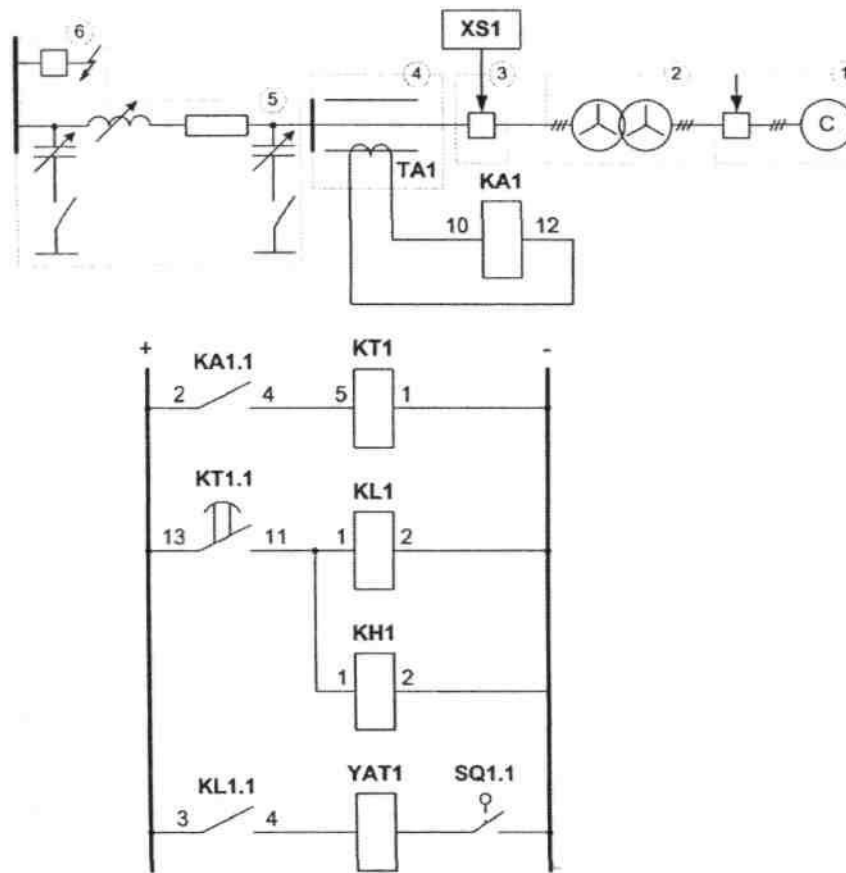


Рис. 2.3. Максимальная токовая защита с независимой выдержкой **времени**.

3.5. Рассчитать ток срабатывания реле по формуле:

$$I_{ср} = K_{сх} I_{раб. макс} K_H I (K_{вoз} n_T)$$

Величину рабочего максимального тока $I_{раб. макс}$ принять равной 3А. Коэффициент надежности K_H принять равным 1,2. Коэффициент возврата реле тока $K_{вoз}$ принять равным 0,95. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 2. Определить уставку срабатывания пусковых реле тока, выбрав ближайшее большее значение из диапазона возможных уставок реле. На лицевой панели реле тока KA1 установить выбранный ток срабатывания реле. На лицевой панели реле времени KT1 установить выдержку времени 3,5 с.

3.6. Включить питание стенда автоматом QF1 модуля питания стенда. Включить питание модуля трехфазной сети переключателем SA1 «Сеть». Включить питание модулей реле тока и времени переключателями «Питание» на лицевых панелях модулей. Включить выключатель модуля трехфазной сети. Подать команду на включение выключателя линии электропередачи с кнопки модуля управления выключателями. Создать короткое замыкание, включив выключатель 6. Записать величину тока короткого замыкания, протекающего по обмотке пускового реле тока. При правильно выбранных уставках реле, защита должна сработать через 3,5 с, отключив выключатель 3.

3.7. Отключить выключатель модуля трехфазной сети. Отключить питание модулей реле тока и времени переключателями «Питание» на лицевых панелях модулей. Отключить питание модуля трехфазной сети переключателем SA1 «Сеть». Отключить питание стенда автоматом QF1 модуля питания стенда. Рассчитать коэффициент чувствительности защиты при трехфазном коротком замыкании в основной зоне действия. Объяснить полученные результаты и сделать, соответствующие выводы. Оформить отчет по лабораторной работе.

4. Фотографирование стенда

Для отчета по выполнению лабораторной работы необходимо сделать фотоснимок стенда в рабочем состоянии, т.е. со всеми подключениями блоков согласно рис. 2.3.

5. Подготовка доклада на конференцию (по желанию).

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по максимальной токовой защите с независимой выдержкой времени и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительный анализ максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени по различным источникам информации.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Как выбирается уставка по току для максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени?
- 6.2. Как обеспечивается селективность действия защит в сети с радиальным питанием?
- 6.3. Что такое «основная» и «резервная» зона действия защиты?
- 6.4. Каково назначение блок-контакта привода выключателя в цепи отключающего электромагнита?
- 6.5. Назовите основной недостаток применения максимальной токовой защиты в радиальных распределительных сетях с односторонним питанием?
- 6.6. Назначение реле времени.
- 6.7. Как выставить уставку выдержки времени на реле КТ1

7. Содержание отчета

- 7.1. Наименование лабораторной работы.
- 7.2. Цель лабораторной работы.
- 7.3. Схема лабораторной работы, реализуемая на стенде.
- 7.4. Результаты расчета уставок.



- 7.5. Краткий перечень действий при выполнении лабораторной работы.
- 7.6. Фотография стенда в рабочем состоянии.
- 7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С ПУСКОМ ПО НАПРЯЖЕНИЮ

1.Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия, схему и методы расчета уставок максимальной токовой защиты с пуском по напряжению.

2.Общие сведения о максимальной токовой защите с пуском по напряжению

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 (рис. 3.1 и 3.2). 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.

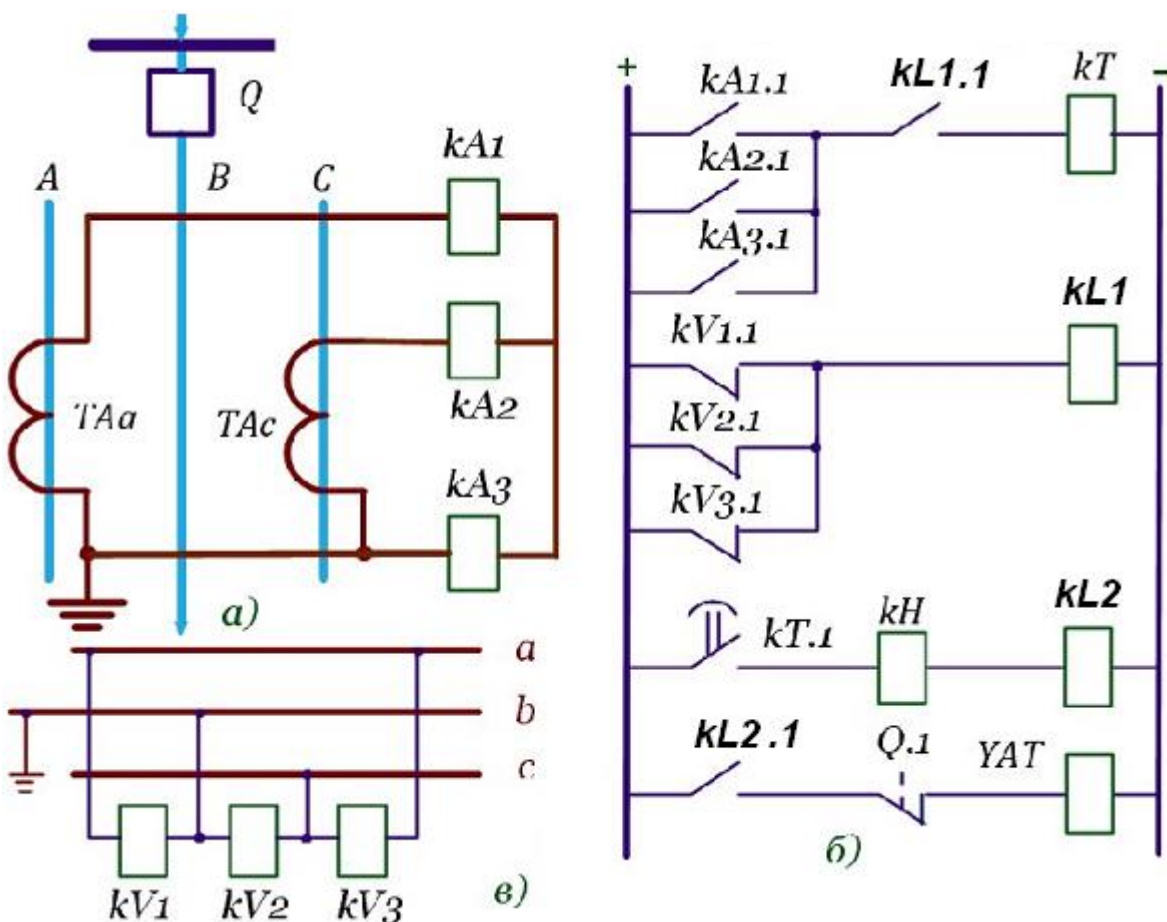


Рис.3.1. Схема максимальной токовой защиты с блокировкой по напряжению: а) схема цепей переменного напряжения; в) схема цепей постоянного тока.

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.

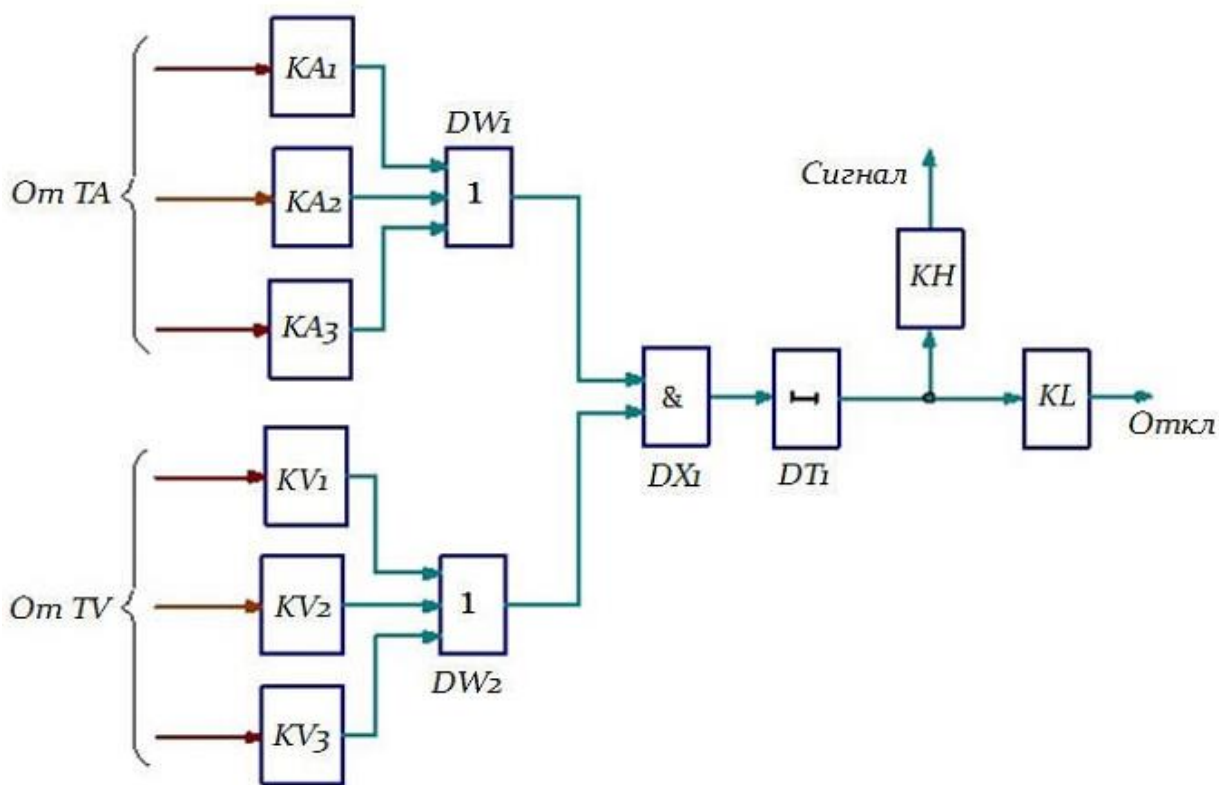


Рис. 3.2. Алгоритм работы максимальной токовой защиты с блокировкой по напряжению

3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с принципом действия, схемами и методами расчета уставок максимальной токовой защиты с пуском по напряжению.

3.2. Ответить на контрольные вопросы.

3.3. Собрать схему испытания защиты, показанную на рис. 3.3. Схема защищаемого объекта представляет собой трехфазный источник питания 1 (модуль трехфазной сети) через трансформатор связи 2, выключатель 3 и измерительный трансформатор тока 4 запитывающий линию электропередачи 5. Трехфазное короткое замыкание создается с помощью выключателя 6. Схема защиты содержит пусковое реле тока KA_1 , включенное на ток вторичной обмотки измерительного трансформатора TA_1 и пусковое реле напряжения KV_1 включенное на линейное напряжение измерительного трансформатора напряжения 7 (TV_1). В качестве источника оперативного тока (клеммы «+» и «-») использовать клеммы оперативного тока, расположенные на модуле питания стенда. Промежуточные реле KL_1 , KL_2 и указательное реле $КН_1$ находятся в модуле «Дополнительные реле». Модуль управления выключателями, обеспечивает ручное и/или автоматическое управление трехфазными выключателями стенда. Для использования данного модуля необходимо соединить разъем XS_1 выключателя с соответствующим разъемом модуля управления выключателями стандартным кабелем DB9-DB9 и перевести переключатель режима управления выключателем в положение «Авт». После этого,

можно подавать команды на включение/отключение выключателя вручную кнопками с модуля управления выключателями или автоматически, подавая ток в электромагниты включения/отключения, расположенные на этом же модуле. В данной схеме используется обмотка электромагнита отключения YAT1 и блок-контакт выключателя SQ1.1 модуля управления выключателями.

3.4. Переключатели режима управления выключателями модулей 1, 3 и 6 перевести в положение «Руч». Установить параметры линии электропередачи: минимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 1); минимальное значение поперечной составляющей (переключатель SA2 в положение 2)-

3.5. Включить питание стенда автоматом QF1 модуля питания стенда. Включит питание модуля трехфазной сети переключателем SA1 «Сеть». Нажать кнопки «Вкл» модуля трехфазной сети 1. Определить величину напряжения на шинах подстанции в нормальном режиме $U_{раб.мин}$ по показаниям вольтметра, включенного в цепь первичной обмотки измерительного трансформатора напряжения TV1 модуля измерительных трансформаторов. Отключить выключатель модуля трехфазной сети 1.

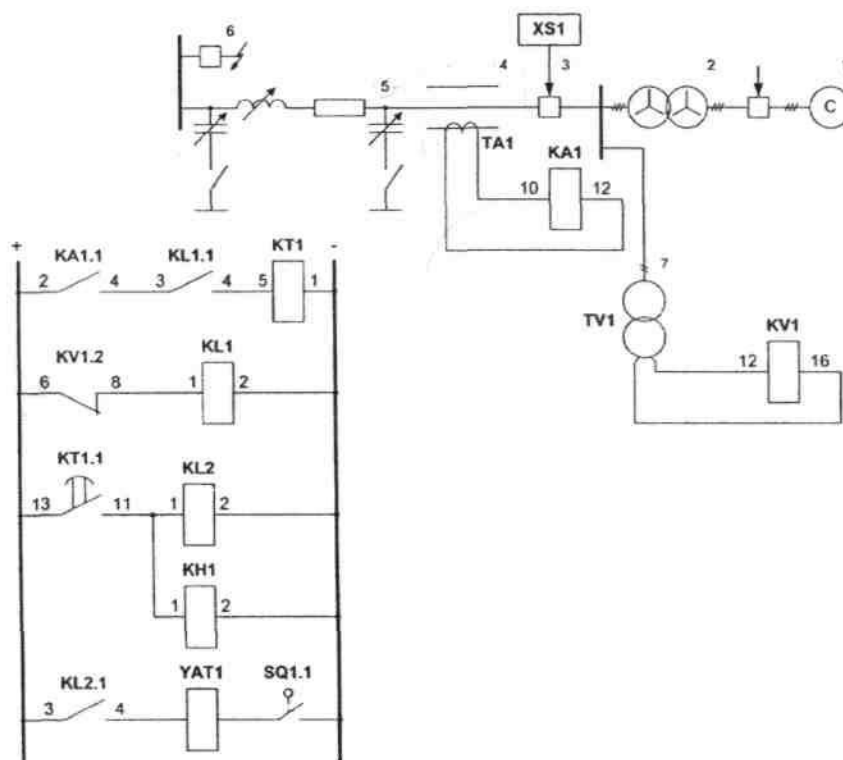


Рис. 3.3. Максимальная токовая защита с пуском по напряжению

3.6. Рассчитать ток срабатывания реле по формуле:

$$I_{ср} = K_{сх} I_{раб.макс} K_H I (K_{воз} n_T)$$

Величину рабочего максимального тока $I_{раб.макс}$ принять равной 3А. Коэффициент надежности K_H принять равным 1,2. Коэффициент возврата реле тока $K_{воз}$ принять равным 0,95. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 2. Определить уставку срабатывания пусковых реле тока, выбрав ближайшее большее значение из диапазона возможных уставок реле. На лицевой панели реле тока KA1 установить выбранный ток срабатывания реле.

3.7. Рассчитать напряжение срабатывания реле напряжения по формуле:

$$U_{CP} = U_{роб. мин} * K_{отс} / (K_{воз} * n_H)$$

Коэффициент отстройки $K_{отс}$ принять равным 0,8. Коэффициент возврата реле напряжения $K_{воз}$ принять равным 1,05. Коэффициент трансформации трансформатора напряжения n_H принять равным 2. Определить уставку срабатывания пускового реле напряжения, выбрав ближайшее меньшее значение из диапазона возможных уставок реле. На лицевой панели реле напряжения KV1 установить выбранное напряжение срабатывания реле (при необходимости изменить рабочий диапазон уставок реле подключением контролируемого напряжения на клеммы 14-16 вместо клемм 12-16). На лицевой панели реле времени КТ1 установить выдержку времени 3,5 с.

3.8. Перевести переключатель режима управления выключателем 3 в положение «Авт». Включить питание модулей реле тока, напряжения, времени переключателями «Питание» на лицевых панелях модулей. Подать команду на включение выключателя линии электропередачи с кнопки модуля управления выключателями. Создать короткое замыкание, включив выключатель 6. Записать величину тока короткого замыкания, протекающего по обмотке пускового реле тока. Записать величину напряжения в режиме короткого замыкания, приложенного к обмотке пускового реле напряжения. При правильно выбранных уставках реле, защита должна сработать через 3,5 с, отключив выключатель 3. Отключить выключатель 6.

3.9. Отключить питание модулей реле тока, напряжения, времени переключателями «Питание» на лицевых панелях модулей. Отключить выключатель модуля трехфазной сети. Отключить питание модуля трехфазной сети переключателем SA1 «Сеть». Отключить питание стенда автоматом QF1 модуля питания стенда.

3.10. Рассчитать коэффициент чувствительности защиты по току при трехфазном коротком замыкании в основной зоне действия. Рассчитать коэффициент чувствительности защиты по напряжению. Объяснить полученные результаты и сделать соответствующие выводы. Оформить отчет по лабораторной работе.

4. Фотографирование стенда

Для отчета по выполнению лабораторной работы необходимо сделать фотоснимок стенда в рабочем состоянии, т.е. со всеми подключениями блоков согласно рис. 3.3.

5. Подготовка доклада на конференцию (по желанию).

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по максимальной токовой защите с пуском по напряжению и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительный анализ максимальной токовой защиты с пуском по напряжению по различным источникам информации.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

6. Контрольные вопросы

6.1. Почему при выборе уставки по току для максимальной токовой защиты с пуском по напряжению не учитывают коэффициент запуска двигательной нагрузки?

6.2. Как влияет наличие пусковых органов напряжения в схеме защиты на ее чувствительность?

- 6.3. Назовите основные достоинства и недостатки максимальной токовой защиты с пуском по напряжению?
- 6.4. Как повлияет обрыв в измерительных цепях напряжения на селективность действия защиты?
- 6.5. Как выставить уставку реле напряжения, используемого в работе?
- 6.6. Почему используется три реле напряжения?

7. Содержание отчета

- 7.1. Наименование лабораторной работы.
- 7.2. Цель лабораторной работы.
- 7.3. Схема лабораторной работы, реализуемая на стенде.
- 7.4. Результаты расчета уставок.
- 7.5. Краткий перечень действий при выполнении лабораторной работы.
- 7.6. Фотография стенда в рабочем состоянии.
- 7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ПРОДОЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

1. Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия, схему и расчет уставок быстродействующей дифференциальной защиты линии электропередачи, провести испытания защиты при различных видах повреждений, определить зону действия защиты и факторы, влияющие на ее селективность.

2. Общие сведения о продольной дифференциальной защите линии электропередачи

Дифференциальная защита является основным видом защиты линий электропередач в сетях с двусторонним питанием. Широкое распространение данного вида защиты обусловлено ее принципом действия, который основан на сравнении величин и направлений токов фаз до и после защищаемого объекта (рис. 4.1).

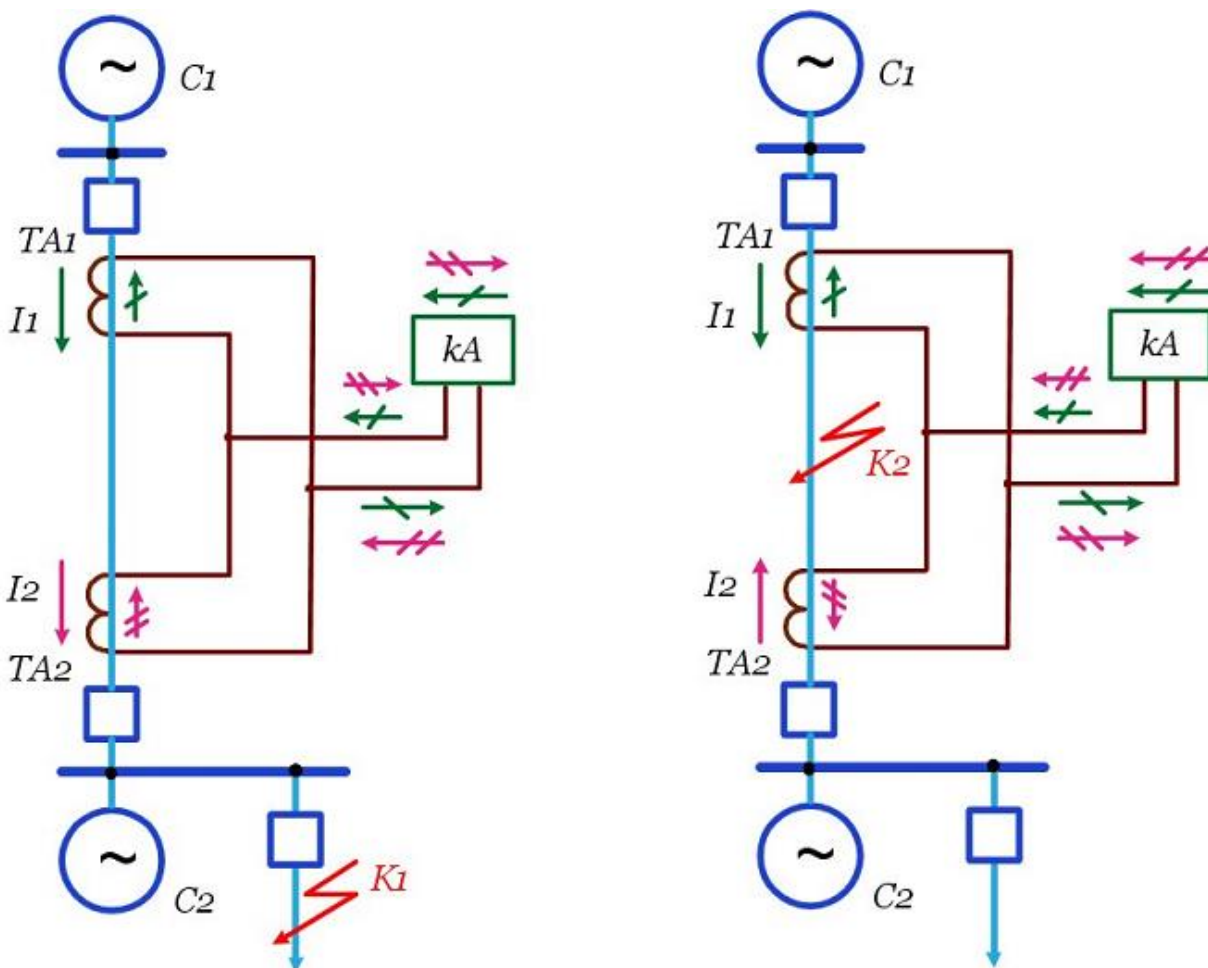


Рис. 4.1. Схема продольной дифференциальной защиты:
 а – режим внешнего короткого замыкания;
 б – короткое замыкание в зоне действия защиты

Это обеспечивает абсолютную селективность действия защиты и позволяет реализовать защиту быстродействующей (без выдержки времени), так как нет необходимости отстройки защиты по времени от защит на других смежных линиях электропередач. Эти и другие факторы привели к широкому использованию защиты на системообразующих линиях связи 110 кВ и выше. Еще одним достоинством дифференциальной защиты является то, что защита не реагирует на внешние короткие замыкания и токи синхронных качаний. Но есть и недостаток, это токи небаланса (рис. 4.2).

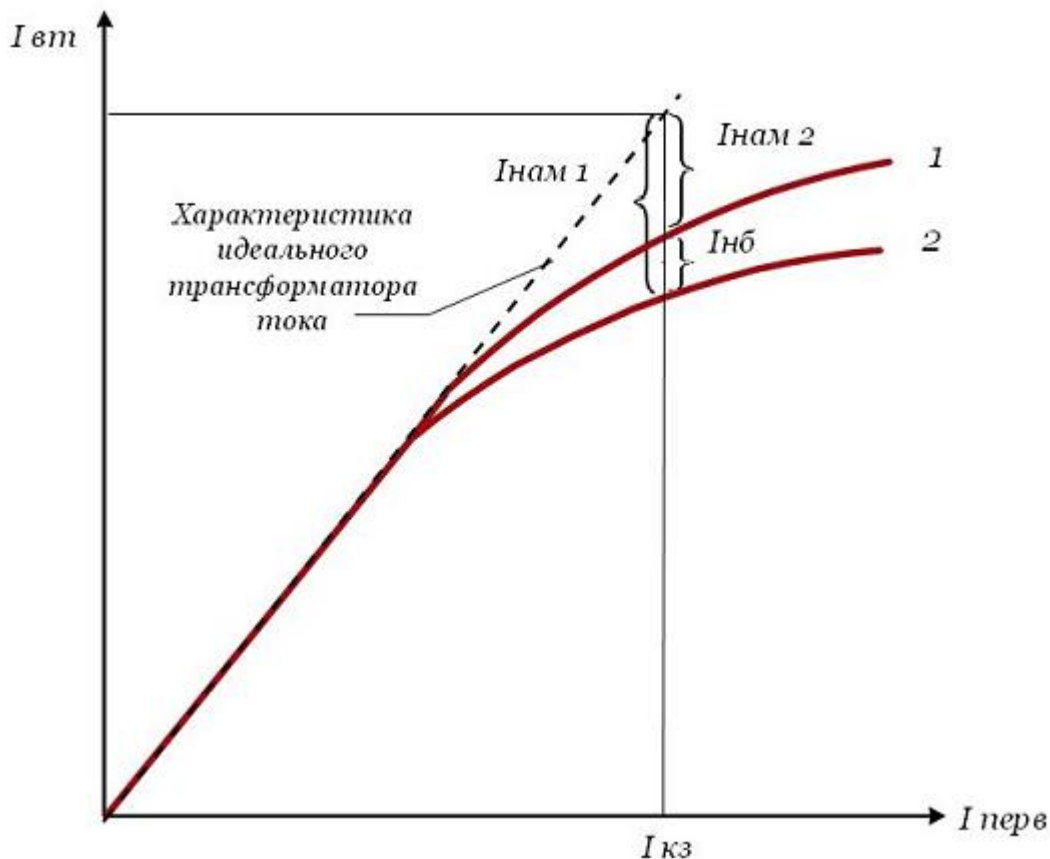


Рис.4.2. Ток небаланса дифференциальной защиты:

$I_{перв}$ - первичный ток трансформатора тока;

$I_{вт}$ - вторичный ток трансформатора тока;

$I_{кз}$ – ток короткого замыкания;

$I_{на м 1}$ и $I_{на м 2}$ - токи намагничивания трансформаторов тока ТА1 и ТА2;

$I_{н б}$ - ток небаланса дифференциальной защиты.

3. Порядок выполнения работы

3.1. Ознакомиться с принципом действия, схемами и методами расчета уставок дифференциальных защит линий электропередачи с двусторонним питанием.

3.2. Ответить на контрольные вопросы.

3.3. Собрать схему испытания защиты, показанную на рис. 4.3. Схема защищаемого объекта представляет собой трехфазный источник питания 1 (модуль трехфазной сети) питающий через измерительный трансформатор тока 2 линию электропередачи 3.

Трехфазное короткое замыкание создается в точках К1 и К2 с помощью выключателя 6. Ток в начале и в конце защищаемой линии измеряется с помощью измерительных трансформаторов тока 2 и 4. В качестве выключателя в начале электропередачи используется выключатель модуля трехфазной сети. В качестве выключателя в конце линии используется выключатель 5. Схема защиты содержит пусковое реле тока КА1, включенное на разность токов вторичных обмоток измерительных трансформаторов тока ТА1 и ТА2. В качестве источника оперативного тока (клеммы «+» и «-») использованы клеммы оперативного тока, расположенные на модуле питания стенда. Промежуточные реле KL1, KL2 и указательное реле КН1 находятся в модуле «Дополнительные реле». Модуль управления выключателями, обеспечивает ручное и/или автоматическое управление трехфазными выключателями стенда. Для использования данного модуля необходимо соединить разъем XS1 выключателя с соответствующим разъемом модуля управления выключателями стандартным кабелем DB9-DB9 и перевести переключатель режима управления выключателем в положение «Авт». После этого, можно подавать команды на включение/отключение выключателя вручную кнопками с модуля управления выключателями или автоматически, подавая ток в электромагниты включения/отключения, расположенные на этом же модуле. В данной схеме используются обмотки электромагнитов отключения YAT1, YAT2 и блок-контакты выключателей SQ1.1, SQ2.1 модуля управления выключателями.

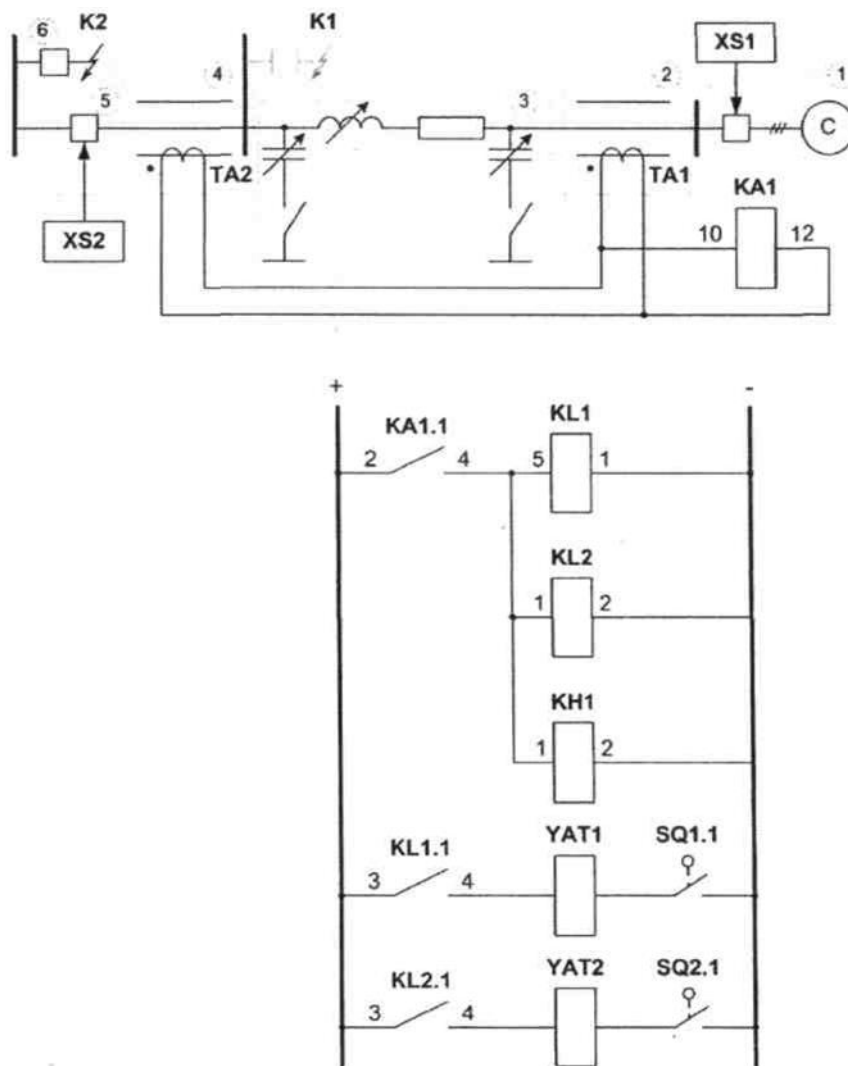


Рис. 4.3. Схема испытания дифференциальной защиты линии электропередачи

3.4. Переключатели режима управления выключателями модулей 1, 5 и 6 перевести в положение «Руч». Установить параметры линии электропередачи: максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); минимальное значение поперечной составляющей (переключатель SA2 в положение 2)-

3.5. Включить питание стенда автоматом QF1 модуля питания стенда. Включить питание модуля трехфазной сети переключателем SA1 «Сеть». Нажать кнопку «Вкл» модуля трехфазной сети 1. Нажать кнопку «Вкл» выключателя 5. Включить выключатель 6 для создания режима внешнего короткого замыкания в точке K2. Определить величину тока небаланса дифференциальной защиты $I_{нб. макс}$ как разность показаний токов амперметров, включенных в цепи первичных обмоток измерительных трансформаторов тока TA1 и TA2 модуля измерительных трансформаторов. Отключить выключатели 6, 5 и выключатель модуля трехфазной сети 1.

3.6. Рассчитать ток срабатывания реле по формуле:

$$I_{ср} = K_{отс} I_{нб. макс} / n_T$$

Коэффициент отстройки защиты $K_{отс}$ принять равным 1,5. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 2. Определить уставку срабатывания пускового реле тока, выбрав ближайшее большее значение из диапазона возможных уставок реле. На лицевой панели реле тока KA1 установить выбранный ток срабатывания реле.

3.7. Перевести переключатели режима управления выключателями модулей 1 и 5 в положение «Авт». Включить питание модуля реле тока переключателем «Питание» на лицевой панели модуля. Подать команды на включение выключателей линии электропередачи с кнопок модуля управления выключателями. Создать короткое замыкание, включив выключатель 6. При правильно выбранных уставках реле, защита не должна срабатывать. Отключить выключатель 6. Подать команды на отключение выключателей линии электропередачи с кнопок модуля управления выключателями. Отключить выключатель модуля трехфазной сети.

3.8. Изменить место подключения выключателя 6 для возможности создания короткого замыкания в точке K1. Включить выключатель модуля трехфазной сети. Подать команды на включение выключателей линии электропередачи с кнопок модуля управления выключателями. Создать короткое замыкание, включив выключатель 6. При правильно выбранных уставках реле, защита должна сработать. Отключить выключатель 6. Отключить выключатель модуля трехфазной сети. Отключить питание модуля трехфазной сети переключателем SA1 «Сеть». Отключить питание модуля реле тока переключателем «Питание» на лицевой панели модуля. Отключить питание стенда автоматом QF1 модуля питания стенда.

3.9. Объяснить полученные результаты и сделать соответствующие выводы. Оформить отчет по лабораторной работе.

4. Фотографирование стенда

Для отчета по выполнению лабораторной работы необходимо сделать фотоснимок стенда в рабочем состоянии, т.е. со всеми подключениями блоков согласно рис. 4.3.

5. Подготовка доклада на конференцию (по желанию).

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по продольной дифференциальной защите линии и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительный анализ продольной дифференциальной защиты линии по различным источникам информации.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

6. Контрольные вопросы

6.1. Объяснить принцип действия дифференциальной защиты линии.

6.2. Почему дифференциальная защита не реагирует на токи нагрузки, токи внешних коротких замыканий и токи синхронных качаний?

6.3. В каком режиме работы защищаемого объекта ток небаланса будет иметь максимальное значение.

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

6.5. В чем заключается наибольшая трудность при выполнении таких защит для линий электропередач?

6.6. К чему может привести обрыв в токовой цепи трансформатора тока, используемого в дифференциальной защите.

6.7. Каково быстродействие изучаемой в работе защиты?

7. Содержание отчета

7.1. Наименование лабораторной работы.

7.2. Цель лабораторной работы.

7.3. Схема лабораторной работы, реализуемая на стенде.

7.4. Результаты расчета уставок.

7.5. Краткий перечень действий при выполнении лабораторной работы.

7.6. Фотография стенда в рабочем состоянии.

7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дьяков А.Ф. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие/ А.Ф. Дьяков, В.В. Платонов// – М: Изд-во МЭИ. – 200/ – 248.
2. Копьев В.Н. Релейная защита. Принципы выполнения и применения: Учебное пособие / В.Н. Копьев // – Томск: ТПУ. – 2009. – 154с.
3. Дубов А.Л. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Методические указания/ А.Л. Дубов, В.А.Митченко // – Ульяновск: УлГТУ. – 2012. – 52с.