

# МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2017 г.



## РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания к выполнению лабораторных  
работ для студентов направления подготовки 13.03.02  
Электроэнергетика и электротехника

Курск 2017

УДК 621.316

Составители: В.И. Бирюлин, А.О. Танцюра, И.В. Ворначева,  
А.С. Чернышев

Рецензент:  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение»  
*В.Н. Алябьев*

**Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем:** методические указания к выполнению лабораторных работ / Юго-Зап.гос.ун-т; сост.: В.И. Бирюлин, А.О. Танцюра, И.В. Ворначева, А.С. Чернышев.- Курск, 2017. 99 с.: ил. 42, табл. 4. Библиогр.: с. 99.

Содержат сведения по выполнению лабораторных работ, исследованию реле тока и напряжения, схем соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и токовых реле, защит линий, трансформаторов и электродвигателей, устройств автоматики.

Предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *28.03.17*. Формат 60x84 1/16.  
Усл.печ.л. *5,6*. Уч.–изд.л. *5,3*. Тираж 100 экз. Заказ *354*. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305044, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы – ознакомиться с конструкцией и работой реле тока и напряжения типов РТ-40, РСТ- 13, РН-50; со способами проверки, настройки и регулировки этих реле, собрать схемы испытаний, провести опыты по снятию рабочих характеристик реле; рассчитать погрешности срабатывания и коэффициенты возврата реле.

#### Пояснения к работе

В лабораторной работе используются электромагнитные реле тока и напряжения типа РТ-40 и РН-50 и электронные реле тока типа РСТ- 13.

Электромагнитные реле тока и напряжения, используемые в данной работе, имеют *схожую* конструкцию. Их магнитная система имеет П - образный вид. На полюсах магнитопровода располагаются две обмотки, которые соединяются между собой последовательно или параллельно. Подвижная система реле состоит из Г-образного стального якоря, подвижного контакта и гасителя вибрации якоря (у токовых реле). Движению якоря противодействует стиральная пружина, одним концом связанная с осью подвижной системы, а вторым - с указателем уставки. Изменяя положение указателя уставки, можно непрерывно изменять натяжение пружины, ее противодействующую силу и ток (напряжение) срабатывания реле.

Электронное токовое реле типа РСТ-13 выполнено на интегральных микросхемах (операционных усилителях). Входной ток этого реле преобразуется в напряжение, напряжение выпрямляется и сравнивается с уставкой. При превышении входного сигнала над уставкой реле срабатывает. В качестве выходного узла используется малогабаритное реле. Для регулировки уставок срабатывания на лицевой панели имеются переключатели. Чтобы выставить заданный ток срабатывания реле, нужно с помощью отвертки поставить соответствующие переключатель в выступающее положение. Ток уставки реле будет равен:

$$I_{уст} = I_{min} * (I + \sum \ominus), \text{ А} \quad (1.1)$$

где  $I_{min}$  - минимальный ток уставки, равный 0,05 А для реле,

используемого в данной лабораторной работе;  $\sum \Theta$  - сумма чисел, нанесенных рядом с переключателями, поставленными в выступающее положение и у которых риски на торцах переключателей направлены в сторону выбранных чисел.

### Примечания к схемам

1. Съёмные провода, применяемые при сборке схемы, показаны сплошными линиями.

2. Зажимы испытуемых реле показаны кружками малого диаметра.

3. Зажимы стенда указаны двойными кружками большего диаметра.

4. Номера зажимов стенда даны в виде цифр около зажимов.

5. На схемах испытаний в верхнем ряду показаны аппараты, в середине - зажимы, внизу - рукоятки управления на передней панели стенда, используемые при данных испытаниях.

6. Лабораторные приборы, включаемые в дополнение к щитовым приборам стенда, показаны на схемах условно.

Необходимость в них и их чувствительность определяются в каждом конкретном случае.

### Порядок выполнения.

1. Ознакомиться с конструкцией и электрической схемой всех испытываемых реле.

2. Собрать схему для испытания электромагнитного реле тока РТ-40 (рис.1.1).

Поставить стрелку указателя таким образом, чтобы риска на шкале совпала с указателем. Затем, плавно увеличивая ток в реле реостатом 1, измерить наименьшее значение тока, при котором реле срабатывает (загорается лампа). Уменьшая ток, измерить наибольшее значение его, при котором происходит возврат подвижной системы реле в исходное положение. Определять ток возврата реле по погасанию контрольной лампы.

Определение тока срабатывания и тока возврата производится для каждой уставки исследуемого реле, как при параллельном, так и последовательном соединении обмоток реле. Результаты измерений и расчеты погрешности и коэффициента возврата заносятся в табл.1.1,

в столбце “Уставка” указать схему соединений обмоток реле.

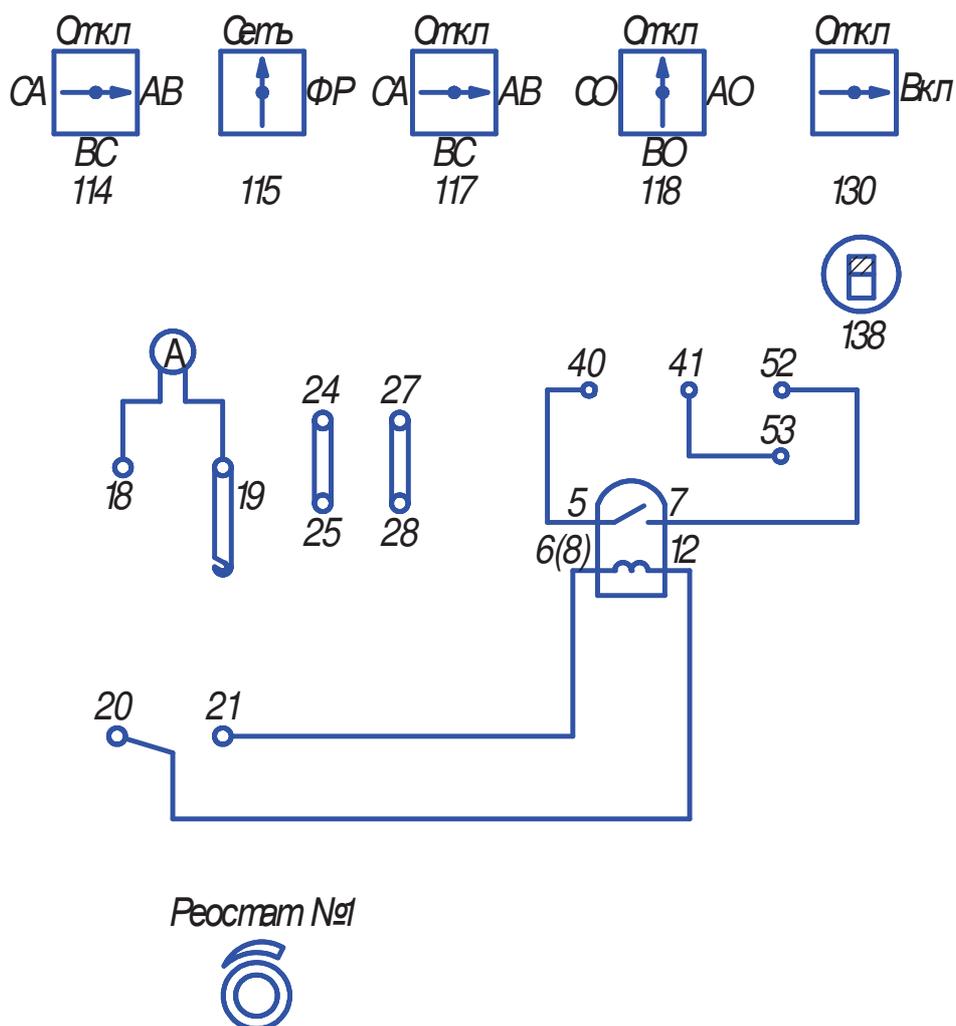


Рисунок 1.1. Схема испытания реле тока РТ-40

Коэффициент возврата и погрешность срабатывания реле определяются по формулам (1.2) и (1.3).

Таблица 1.1 Коэффициент возврата и погрешность реле тока

Уставка Iуст, А	Ток срабатывания Iср, А	Ток возврата Iв, А	Коэффициент возврата Кв	Погрешность $\Delta I, \%$

Погрешность срабатывания определяется по формуле:

$$\Delta I = (I_{уст} - I_{ср}) * 100\% / I_{уст} \quad (1.2)$$

Коэффициент возврата определяется по формуле:

$$K_{\epsilon} = I_{\epsilon} / I_{cp} \quad (1.3)$$

3. Собрать схему для исследования электронного реле тока типа РСТ-13 (рис.1.2).

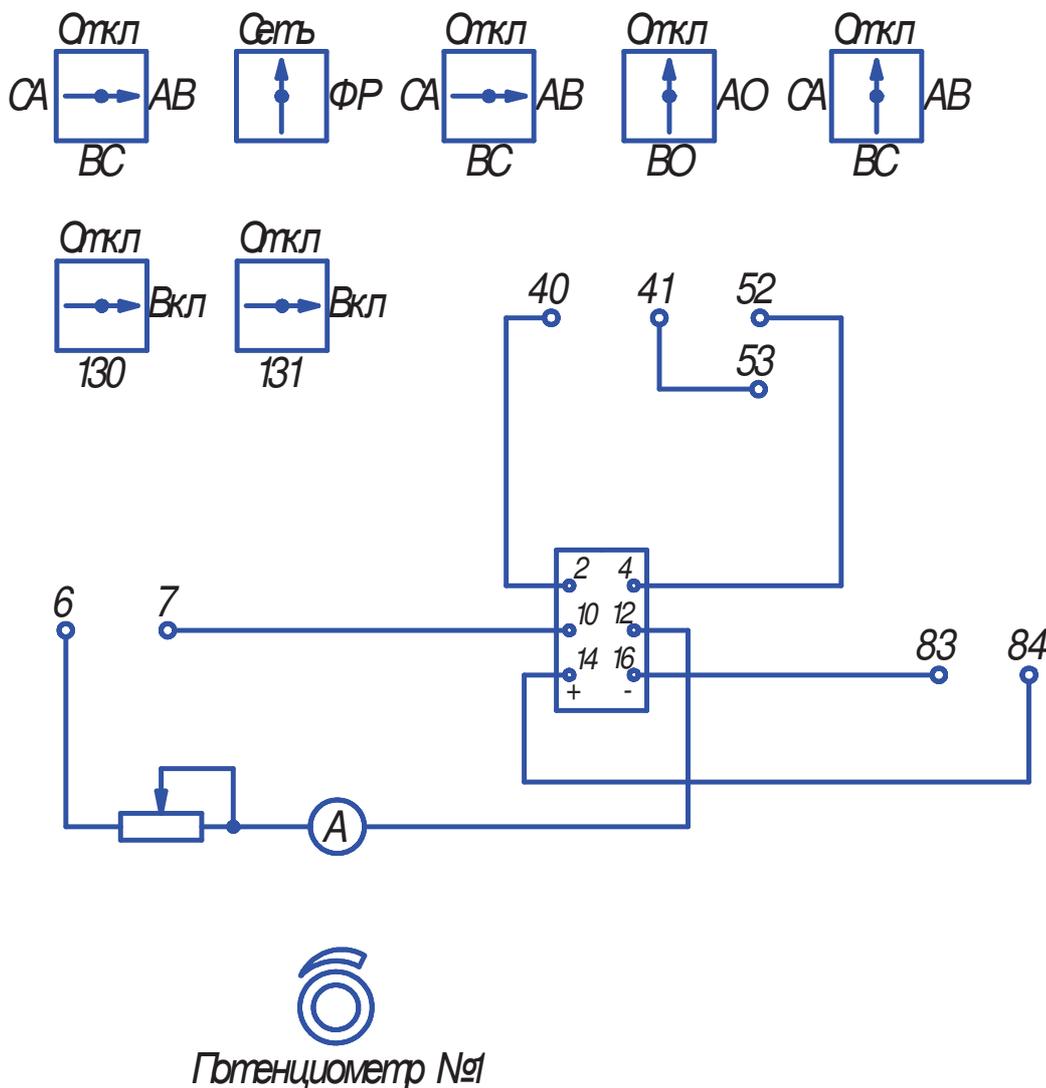


Рисунок 1.2. Схема испытания реле тока РСТ-13

Выставить требуемый ток срабатывания путем поворота переключателей на лицевой панели реле в соответствующее положение, расчет тока срабатывания - по формуле (1.1).

Плавно увеличивая ток в реле потенциометром 2, определить значения тока срабатывания и тока возврата для данной уставки. Результаты записать в таблицу, аналогичную табл.1.1.

Затем изменяется уставка реле таким образом, чтобы получить 6-7 точек характеристики между минимальным и максимальным токами срабатывания реле.

Погрешность срабатывания и коэффициент возврата

определяются также по формулам (1.2) и (1.3).

4. Собрать схему для исследования электромагнитного реле напряжения типа РН-50 (рис.1.3). Выставить уставку на реле, потенциометром 2 определить напряжение срабатывания и напряжение возврата. Результаты занести в табл.1.2.

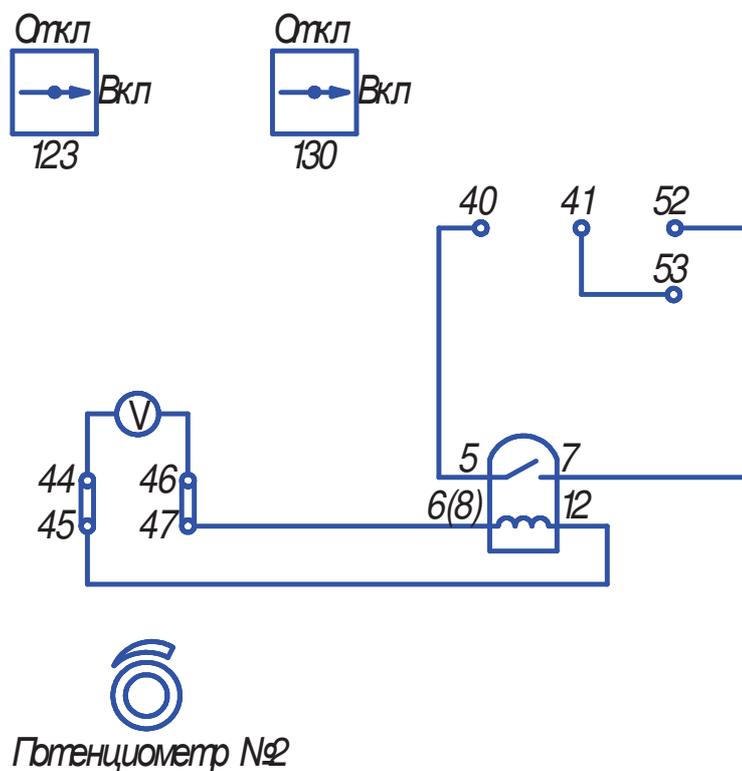


Рисунок 1.3. Схема испытания реле напряжения РН-50

Таблица 1.2 Коэффициент возврата и погрешность реле напряжения

Уставка Ууст, А	Напряжение срабатывания Уср, А	Напряжение возврата Ув, А	Коэффициент возврата Кв	Погрешность $\Delta U, \%$

Погрешность срабатывания и коэффициент возврата определяются по формулам (1.2) и (1.3); при расчетах токи заменяются на соответствующие напряжения.

## Содержание отчета

1. Тип и технические данные испытываемых реле.
2. Схемы внутренних соединений реле.
3. Таблицы с опытными и расчетными данными.
4. Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к токовым реле, к реле напряжения?
2. Достоинства и недостатки электромагнитных реле?
3. Достоинства и недостатки электронных реле?
4. Почему у реле РТ-40 электромагнит выполнен из отдельных листов с изоляцией их относительно друг друга?
5. Как проверить исправность выпрямительного моста у реле РН- 50?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Цель работы – ознакомиться с конструкцией и работой реле времени типа РВ-124, ПРВ, РВМ-12; со способами проверки, настройки и регулировки этих реле; собрать схемы испытаний, провести опыты по снятию рабочих характеристик реле; рассчитать погрешности срабатывания реле.

#### Пояснения к работе

В лабораторной работе используются реле времени следующих типов: электромагнитное - РВ-124, электронное - ПРВ, моторное - РВМ-12.

Электромагнитное реле времени выполнено на электромагнитной системе с втягивающимся якорем. Выдержка времени создается часовым механизмом. После подачи напряжения на обмотку реле, якорь втягивается и запускает часовой механизм, который перемещает подвижный контакт с равномерной скоростью. При замыкании контактов реле срабатывает и останавливается. Уставка реле регулируется за счет изменения положения неподвижного контакта. Стрелка, расположенная под неподвижным контактом, указывает установленное время срабатывания. После снятия напряжения с обмотки реле возвратная пружина возвращает якорь реле в исходное положение.

Электронное реле времени типа ПРВ использует в своей работе процесс заряда конденсатора. В исходном состоянии времязадающий конденсатор разряжен, последовательно с ним включен набор резисторов с изменяемым сопротивлением. После подачи напряжения на реле конденсатор начинает заряжаться, скорость процесса заряда будет определяться емкостью конденсатора и величиной сопротивления, включенного последовательно с ним. Напряжение на конденсаторе сравнивается специальной схемой сравнения с образцовым, как только они сравниваются - реле срабатывает.

Величина сопротивления, а значит и времени срабатывания, регулируется с помощью контактных винтов на лицевой панели. Выдержка времени устанавливается в процентах от максимальной выдержки времени, указанной на лицевой панели. Реле имеет две

ступени - ступень 1 или предварительная, ступень 2 или основная. В лабораторной работе используется ступень 2.

Моторное реле времени типа РВМ - 12 имеет в своем составе синхронный микродвигатель, два промежуточных трансформатора, контактную систему. Первичные обмотки промежуточных трансформаторов подключаются к вторичным обмоткам трансформаторов тока, установленных в линиях, питающих защищаемые объекты, и преобразуют ток в напряжение, подаваемое на обмотку синхронного микродвигателя. Двигатель начинает работать и перемещает якорь реле. Якорь реле при своем движении замыкает на короткое время два импульсных или проскальзывающих контакта, при замыкании третьего контакта реле останавливает работу.

### Порядок выполнения

1. Собрать схему для испытания электромагнитного реле времени РВ-124 (рис.2.1).

Выставить на реле наименьшую выдержку времени, после этого нажать на кнопку и держать ее до остановки секундомера, записать полученное время срабатывания и уставку в табл.2.1. Сбросить показания секундомера и повторить опыт еще два раза на установленной уставке. Затем опыт производится для каждой уставки времени, указанной на шкале реле. Уставка по времени и полученные значения времени срабатывания заносятся в табл. 2.1.

Таблица 2.1 Время срабатывания и погрешность реле

Уставка реле туст, с	Время срабатывания			Среднее время срабатывания $t_{cp\Sigma}, c$	Погрешность реле $\Delta t, \%$
	$t_{cp1}, c$	$t_{cp2}, c$	$t_{cp3}, c$		

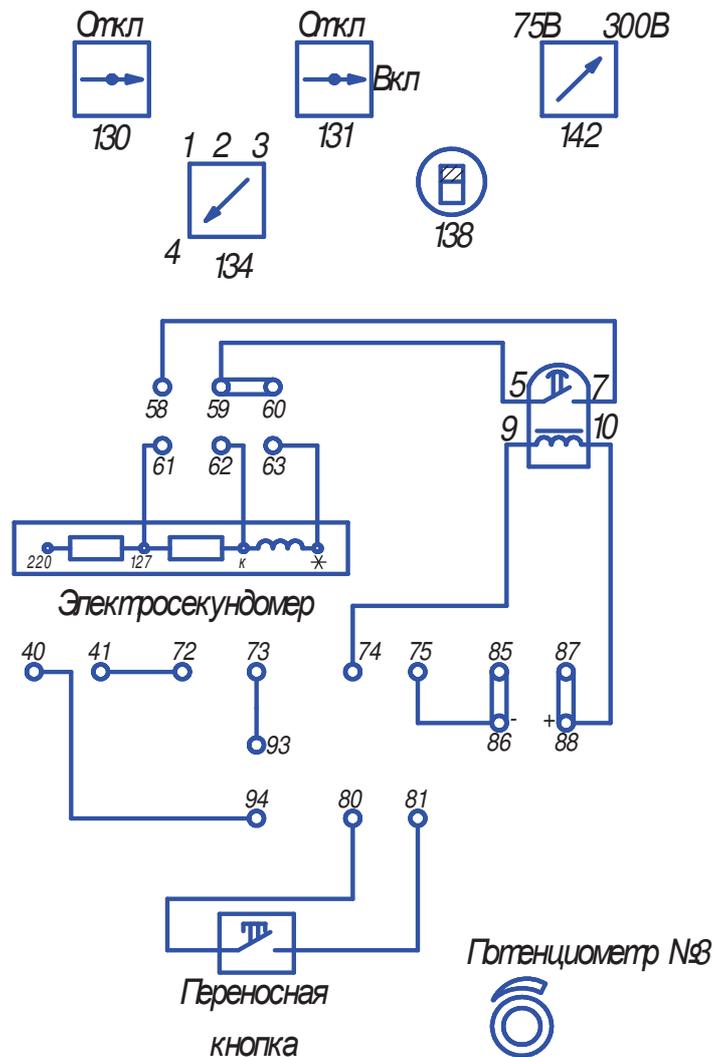


Рисунок 2.1 Схема испытания реле времени РВ-124.

Среднее время срабатывания определяется как среднеарифметическое по трем временам срабатывания

$$t_{cp\Sigma} = (t_{cp1} + t_{cp2} + t_{cp3}) / 3, \text{ с} \quad (2.1)$$

Погрешность срабатывания реле определяется как

$$\Delta t = (t_{\text{о\ddot{n}\delta}S} - t_{\text{н\ddot{o}\delta}S}) * 100\% / t_{ecn} \quad (2.2)$$

2. Собрать схему для испытания электронного реле времени ПРВ (рис.2.2), обратить особое внимание на правильную полярность подключения реле к источнику постоянного напряжения. Установить при помощи контактных винтов ступени 2 минимальную выдержку времени (10%) и определить три времени срабатывания. Результаты занести в таблицу, аналогичную табл.2.1. Затем, увеличивая уставку каждый раз на 10%, повторить опыт, дойдя в конце до максимальной уставки. Определить среднее время срабатывания и погрешность реле по формулам (2.1) и (2.2).

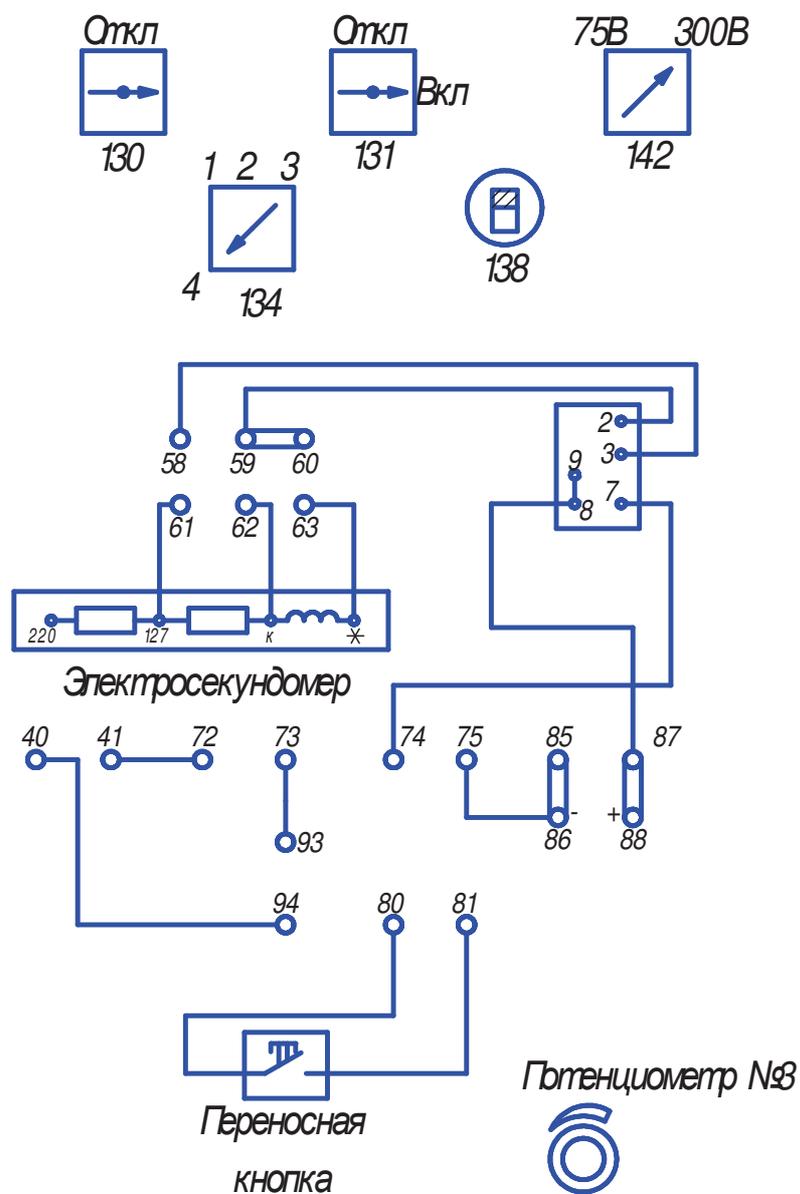


Рисунок 2.2 Схема испытания реле времени РВВ.

3. Собрать схему для испытания моторного реле времени РВМ-12 (рис.2.3).

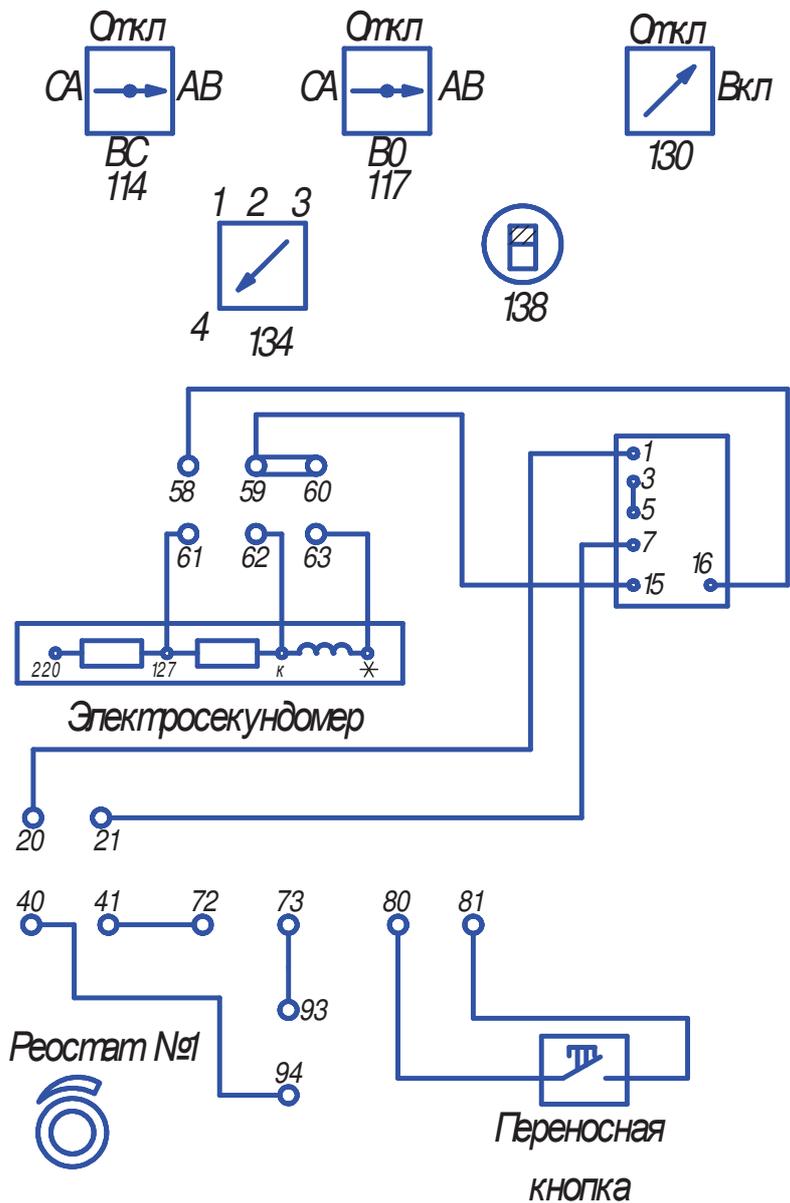


Рисунок 2.3 Схема испытания реле времени РВМ-12.

Установить минимальную выдержку времени и полностью повторить действие пунктов 1 и 2. Для реле также составляется таблица с опытными и расчетными данными, аналогичная табл. 2.1.

По результатам расчетов для каждого реле строится график зависимости  $\Delta t$  от  $t_{уст}$ .

#### Содержание отчета

1. Тип и технические данные испытываемых реле.
2. Схемы внутренних соединений реле.
3. Таблицы с опытными и расчетными данными, графики  $\Delta t = f(t_{уст})$ .
4. Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Достоинства и недостатки реле времени всех типов, используемых в данной работе?
2. Факторы, влияющие на точность электронных реле времени?
3. Факторы, влияющие на точность моторных реле времени?
4. Назначение цепи, включенной параллельно вторичным обмоткам промежуточных трансформаторов у реле РВМ-12?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ СОЕДИНЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ОБМОТОК РЕЛЕ

Цель работы – ознакомиться со схемами соединений вторичных обмоток трансформаторов тока и токовых реле; собрать схемы соединений вторичных обмоток трансформаторов тока и токовых приборов; провести эксперименты по определению токораспределения в различных схемах; рассчитать коэффициенты схем; построить векторные диаграммы токов в первичных и вторичных цепях.

#### Пояснения к работе

Питание цепей релейной защиты осуществляется по типовым схемам соединений трансформаторов тока и обмоток реле. Поведение и работа реле в каждой из этих схем зависят от характера распределения токов во вторичных цепях релейной защиты в нормальных и аварийных режимах.

В данной лабораторной работе используются три трансформатора тока, включенные в фазы защищаемой сети. Существует возможность менять параметры сети и устраивать в ней различные короткие замыкания.

С помощью специальной программы на компьютере виртуально собираются вторичные обмотки трансформаторов тока в различные типовые схемы и в реальном времени наблюдается распределение токов в схемах, а также осциллограммы и векторные диаграммы этих токов. Схемы соединений приведены на рис.3.1 и рис.3.2.

Активная нагрузка А4 через трехполюсный выключатель А1, блок А2 однофазных трансформаторов и через модель линии электропередачи А3 подключена к трехфазному источнику питания G1. Трансформаторы тока блока А5 измерительных трансформаторов тока и напряжения включены на токи фаз активной нагрузки А4. Один из трансформаторов напряжения блока А5 включен на междуфазное напряжение сети, используемое как опорное при построении векторных диаграмм.

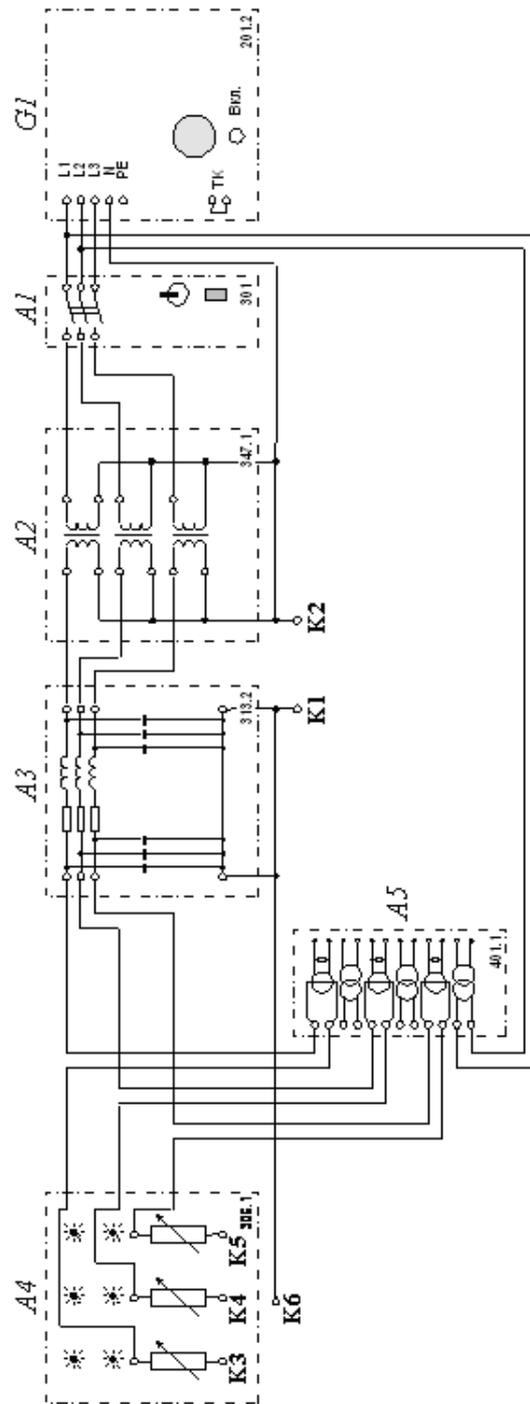


Рисунок 3.1. Электрическая схема соединений

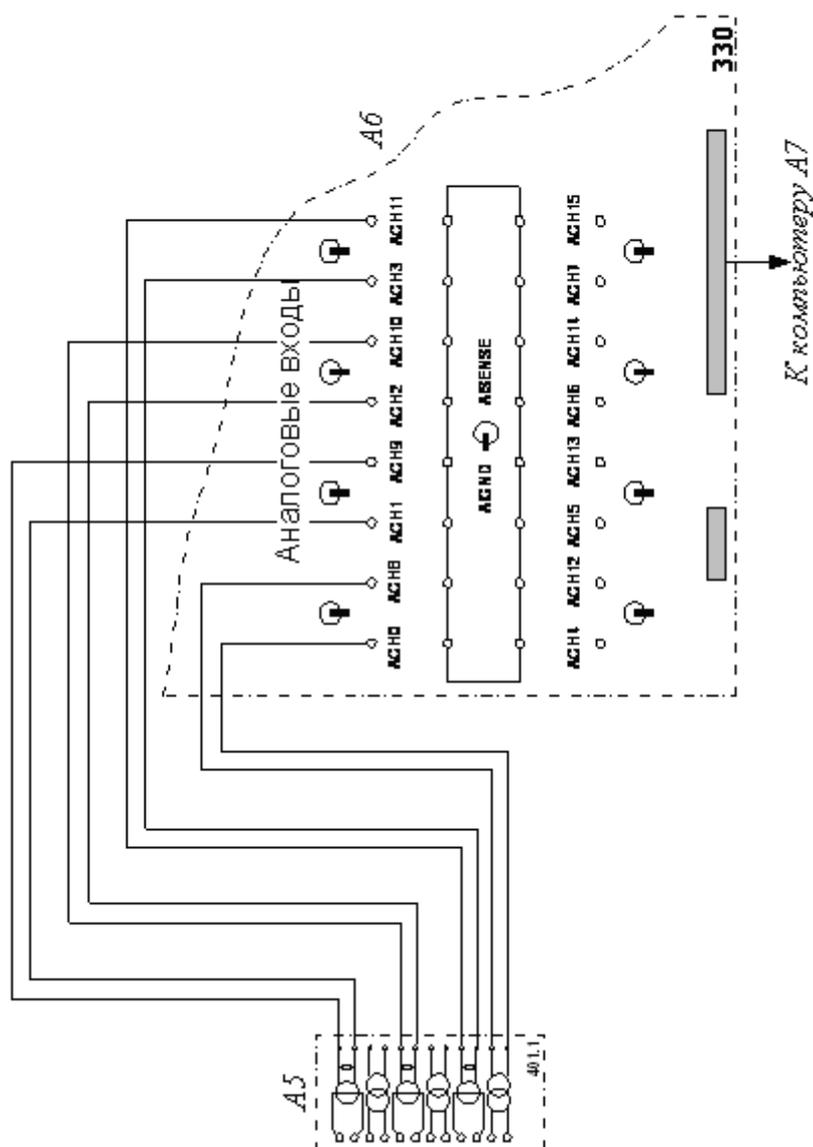


Рисунок 3.2. Электрическая схема соединений (продолжение)

Вторичные сигналы с трансформаторов тока и напряжения блока А5 подключены к аналоговым входам коннектора А6, который в свою очередь соединен гибким ленточным шлейфом с платой ввода/вывода РСІ6024Е персонального компьютера А7.

### Порядок выполнения работы

Проверить, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания. Соединить гнезда «ТК» источника G1. Соединить гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника

G1. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений. Смоделировать режим работы сети – например, для сети с заземленной нейтралью соедините точки K1 и K2.

Смоделировать «короткое замыкание» (через токоограничивающие сопротивления нагрузки A4) – например, двухфазное на землю фаз А и С, для чего соедините точки K3, K5 и K6 между собой.

Переключатель режима работы трехполюсного выключателя A1 установить в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока A2 выставить равными, например, 230/230 В. Параметры линии электропередачи A3 переключателями установить, например, следующими:  $R = 150 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$ ,  $C1 = C2 = 0,15 \text{ мкФ}$ . Выбрать мощность активной нагрузки A4, например 40% от 50 Вт во всех трех фазах.

Включить источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки. Включить выключатель «СЕТЬ» выключателя A1.

Привести в рабочее состояние персональный компьютер A7, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «Трансформаторы тока.exe». Для начала сбора данных нажать на виртуальную кнопку «Пуск». Включить выключатель A1. На экране компьютера отобразятся векторные диаграммы токов трансформаторов и токов в виртуальных реле, а также симметричные составляющие токов трансформаторов.

На виртуальной схеме соединений трансформаторов тока и реле появятся действующие значения токов в различных ее частях. Правее этой схемы можно наблюдать осциллограммы токов в обмотках трансформаторов.

Выбирать заданную преподавателем схему соединений трансформаторов тока из раскрывающегося списка на экране компьютера, изменять параметры активной нагрузки A4, вид замыкания и/или режим заземления нейтрали и наблюдать получающиеся векторные диаграммы. Значения токов и их фаз в рассматриваемой схеме занести в соответствующую таблицу.

По завершении выполнения работы отключить выключатель A1 и источник G1.

Таблица 3.1. Характеристика токораспределения

Название схемы								
Показания приборов	Первичные цепи ток, А/фаза, град				Вторичные цепи ток, А/фаза, град			
	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_0$	$I_a$	$I_b$	$I_c$	$I_o$
Трехфазное								
Двухфазн. (АВ)								
Двухфазн. (АС)								
Однофазн. (А0)								
Однофазн. (В0)								
Двухфазное на землю (АВ0)								

#### Содержание отчета

- 1.Схемы, исследуемые в лабораторной работе.
- 2 Таблицы с результатами измерений токов первичных и вторичных цепей для каждой схемы.
3. Результаты расчетов коэффициентов схем.
4. Векторные диаграммы.
- 5.Выводы по работе.

#### Контрольные вопросы

- 1 .Достоинства и недостатки схем, применяемых в лабораторной работе.
2. Как определяется коэффициент схемы?
3. Как определяется коэффициент чувствительности?
4. Назначение реле в обратном проводе неполной звезды.
5. Какие схемы соединения обмоток трансформаторов тока используются в защитах от многофазных КЗ?
6. Каково назначение нейтрального провода в схеме полной звезды?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА

#### 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.

#### Пояснения к работе

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.

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». В сети с изолированной нейтралью или заземленной через большое сопротивление применяются двухфазные схемы.

Основными достоинствами токовой отсечки являются ее простота и высокое быстродействие. Основной недостаток - 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

Ознакомьтесь с принципом действия, схемами и методами расчета уставок мгновенных токовых отсечек на линиях с односторонним питанием в сети с изолированной нейтралью.

Собрать схему испытания защиты, показанную на рис. 4.1.

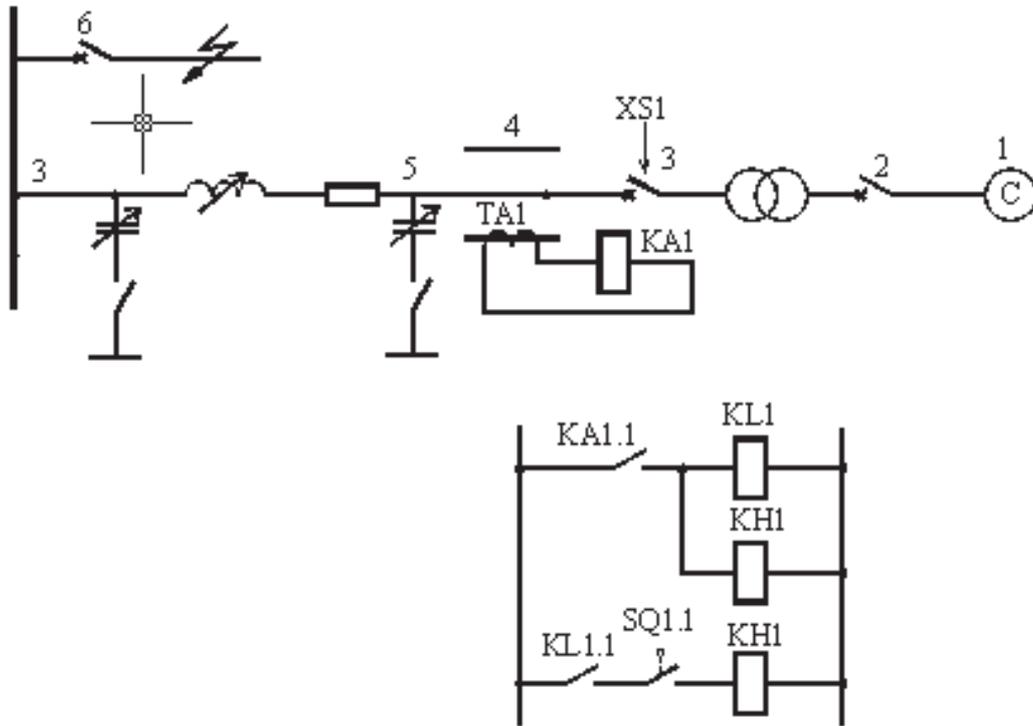


Рисунок 4.1. Схема испытания токовой отсечки

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 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 К.Л1 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.

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

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 трехфазного короткого замыкания  $I_{ю}$  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.

Рассчитать ток срабатывания реле по формуле:

$$I_{CP} = I_{кз} \cdot K_n / n_m. \quad (4.1)$$

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

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».

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.

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.

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.

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.

### Содержание отчета

1. Схема защиты, исследуемая в лабораторной работе.
2. Результаты расчетов уставок защиты.
3. Значения токов КЗ, моделируемых в работе.
4. Выводы по 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?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА

#### Цель работы

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

#### Пояснения к работе

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

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

Собрать схему испытания защиты, показанную на рис. 5.1.

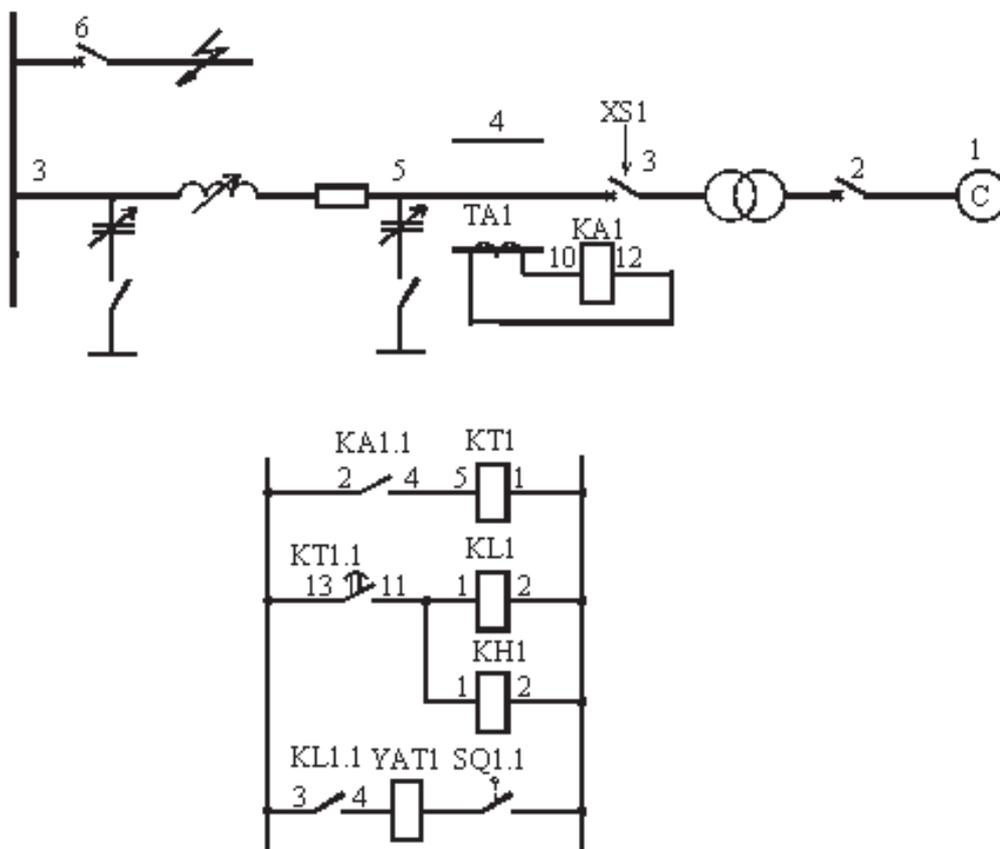


Рисунок 5.1. Схема испытания максимальной токовой защиты

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 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.

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

Рассчитать ток срабатывания реле по формуле:

$$I_{CP} = K_{CX} I_{РАБ.МАКС} K_H / (K_{ВОЗ} N_T) \quad (5.1)$$

Величину рабочего максимального тока  $I_{раб.макс}$  принять равной 3 А. 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 КА1 установить выбранный ток срабатывания реле. На лицевой панели реле времени КТ1 установить выдержку времени 3,5 с.

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.

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.

### Содержание отчета

1. Схема защиты, исследуемая в лабораторной работе.
2. Результаты расчетов уставок защиты.
3. Значения токов КЗ, моделируемых в работе.
4. Выводы по 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 соединения трансформаторов тока и обмоток реле?
5. Каково назначение контакта привода выключателя в цепи отключающего электромагнита?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С ПУСКОМ ПО НАПРЯЖЕНИЮ

#### Цель работы

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

#### Пояснения к работе

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

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

Собрать схему испытания защиты, показанную на рис. 6.1. 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 КА1, включенное на ток вторичной обмотки измерительного трансформатора ТА1 и пусковое реле напряжения КВ1, включенное на линейное напряжение измерительного трансформатора напряжения 7 (ТВ1). В качестве источника оперативного тока (клеммы «+» и «-») использовать клеммы оперативного тока, расположенные на модуле питания стенда. Промежуточные реле КЛ1, КЛ2 и указательное реле КН1 находятся в

модуле «Дополнительные реле».

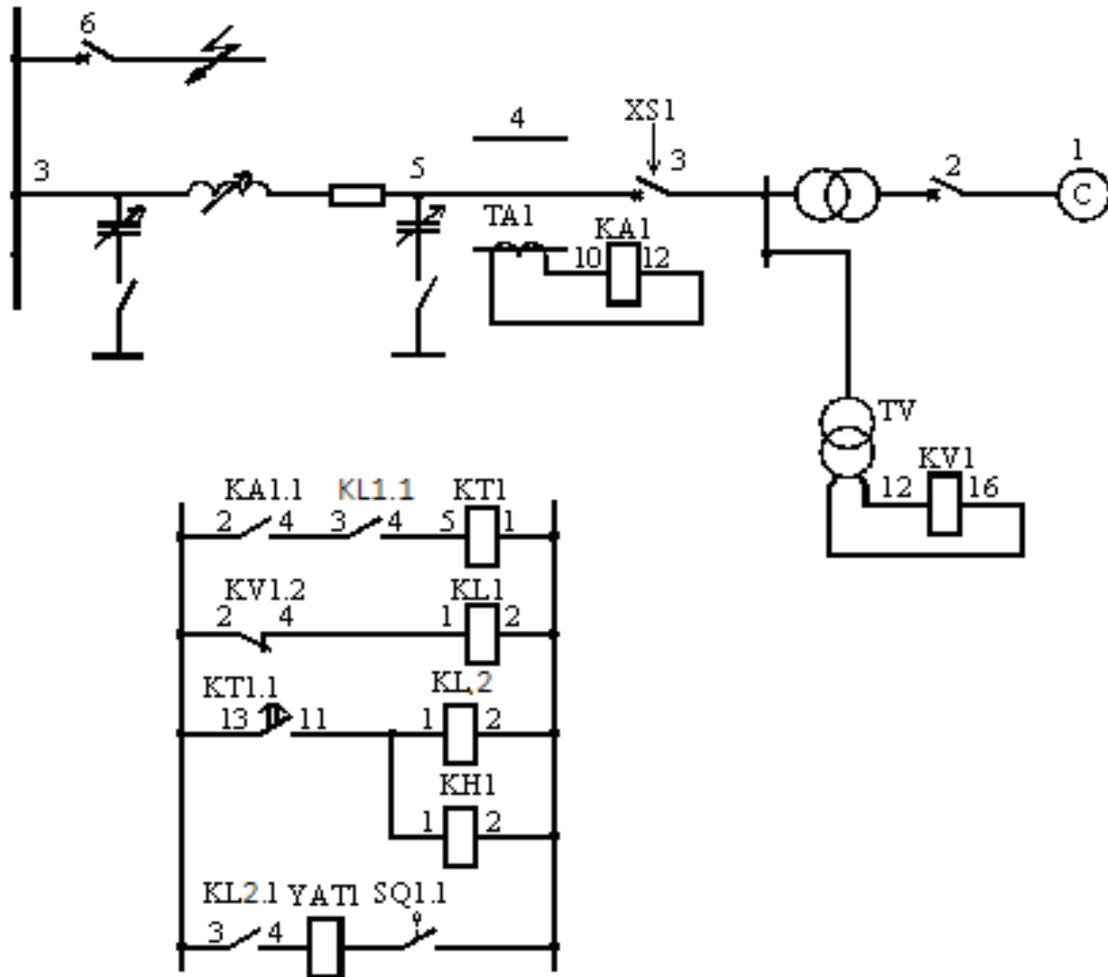


Рисунок 6.1. Схема испытания максимальной токовой защиты с пуском по напряжению

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.

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

Включить питание стенда автоматом QF1 модуля питания стенда. Включить 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.

Рассчитать ток срабатывания реле по формуле:

$$I_{CP} = K_{сх} I_{раб.макс} K_H / (K_{воз} n_T) \quad (6.1)$$

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 КА1 установить выбранный ток срабатывания реле.

Рассчитать напряжение срабатывания реле напряжения по формуле:

$$U_{CP} = U_{раб.мин} * K_{отс} / (K_{воз} n_n). \quad (6.2)$$

Коэффициент отстройки  $K_{отс}$  принять равным 0,8. Коэффициент возврата реле напряжения  $K_{воз}$  принять равным 1,05. Коэффициент трансформации трансформатора напряжения  $n_n$  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.

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.

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.

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.

### Содержание отчета

1. Схема защиты, исследуемая в лабораторной работе.
2. Результаты расчетов уставок защиты.
3. Значения токов КЗ, моделируемых в работе.
4. Выводы по работе.

### 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?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ДВУХ ЛИНИЙ С ОДНОСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

#### Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия, схему и методы расчета уставок токовых защит двух линий с односторонним питанием.

#### Пояснения к работе

Токовые защиты подразделяются на максимальные токовые защиты (МТЗ) и токовые отсечки. Главное различие между этими защитами заключается в способе обеспечения селективности.

Селективность действия максимальных токовых защит достигается с помощью выдержки времени.

В сетях с односторонним питанием максимальная защита должна устанавливаться в начале каждой линии со стороны источника питания. Тогда каждая линия имеет самостоятельную защиту, отключающую линию в случае повреждения на ней самой или на шинах питающейся от нее подстанции.

При коротком замыкании (КЗ) в какой-либо точке ток КЗ проходит по всем участкам сети, расположенным между источником питания и местом повреждения, в результате чего приходят в действие все защиты. Однако по условию селективности срабатывает на отключение только защита, установленная на поврежденной линии. Для обеспечения указанной селективности максимальные защиты выполняются с выдержками времени, нарастающими от потребителей к источнику питания.

Токовая защита может быть с зависимой, независимой или ограниченно зависимой выдержкой времени.

Селективность действия токовых отсечек обеспечивается соответствующим выбором тока срабатывания.

Для повышения чувствительности максимальной токовой защиты при КЗ и улучшения ее отстройки от токов нагрузки применяется блокировка посредством реле минимального напряжения. Защита может действовать на отключение только при условии понижения напряжения в сети ниже минимального уровня рабочего напряжения. В случае перегрузки линии и относительно

небольшом понижении напряжения защита не сработает, даже если ток фаз увеличится выше значения уставки. В данной лабораторной работе используются две последовательно соединенные линии (рис 7.1.), подключенные к источнику G через трансформатор T1 и выключатели Q1 и Q2.

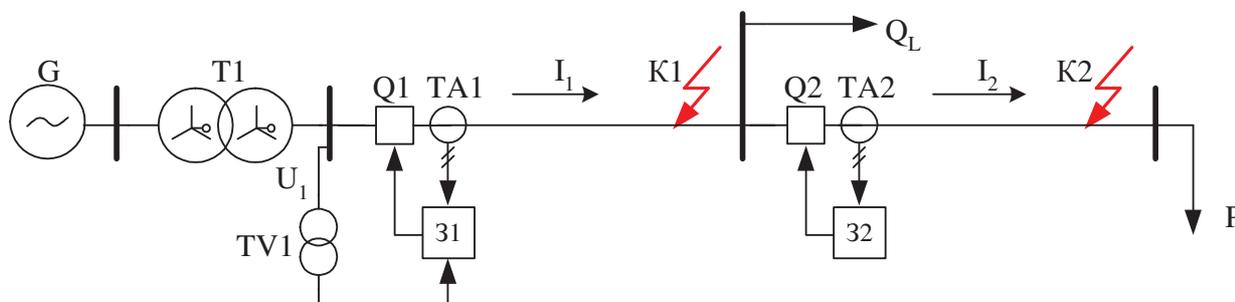


Рисунок 7.1. Схема применения токовых защит двух линий с односторонним питанием

От шин ближней к источнику линии (первой) получает питание индуктивная нагрузка  $Q_L$ , от шин другой линии – активная нагрузка  $P$ . В начале первой линии установлены трансформаторы тока TA1 и напряжения TV1, в начале второй – только трансформатор тока TA1. Короткие замыкания K1 и K2 устраиваются в конце каждой из линий.

Две защиты 31 и 32 моделируются на компьютере с помощью специальной программы. Защита 31 может работать с независимой или зависимой выдержкой времени, а также с блокировкой по напряжению или без нее. Защита 32 может работать только с независимой выдержкой времени без блокировки по напряжению.

В рамках рассматриваемой работы можно смоделировать, как минимум, 5 различных вариантов (комбинаций) защит:

- 31 с независимой выдержкой времени без блокировки по напряжению;
- 31 с зависимой выдержкой времени без блокировки по напряжению;
- 31 с независимой выдержкой времени с блокировкой по напряжению;
- 31 и 32 с независимыми выдержками времени без блокировок по напряжению;
- 31 или 32 в качестве токовой отсечки без выдержки времени.

Кроме перечисленных, можно выполнить и другие

эксперименты, любым образом комбинируя уставки защит.

При использовании двух МТЗ линий полезно убедиться в том, что защита первой линии действительно резервирует защиту второй линии. Для этого нужно смоделировать отказ выключателя Q2 (например, перевести его в ручной режим работы и включить), после чего провести эксперимент, устраивая короткое замыкание в конце второй линии, и убедиться, что срабатывает защита первой.

Схема электрических соединений приведена на рис.7.2 и рис.7.3. На этой схеме активная нагрузка A6 через модели линий электропередачи A3, A5, выключатели A2, A4, линейный реактор A15 и трехфазную трансформаторную группу A1 подключена к источнику G1. К последнему через модель линии A3, выключатель A2, трехфазную трансформаторную группу A1 и линейный реактор A15 подключена также индуктивная нагрузка A9.

Выключатели A7, A8 используются как короткозамыкатели и присоединены к шинам соответственно активной A6 и индуктивной A9 нагрузок.

В начале каждой из линий электропередачи включен один трансформатор тока (на фазный ток) и один трансформатор напряжения (на междуфазное напряжение) блока A10 измерительных трансформаторов тока и напряжения. Эти величины используются в качестве входных данных для программы, имитирующей работу двух токовых защит рассматриваемых линий.

Вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения блока A10 подключены к аналоговым входам коннектора A11, соединенного гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера A14.

Розетки «УПР.» трехполюсных выключателей A2 и A4 гибкими кабелями подключены к розеткам терминала A12, гнезда которого соединены с гнездами блока A13 ввода-вывода цифровых сигналов согласно электрической схеме соединений.

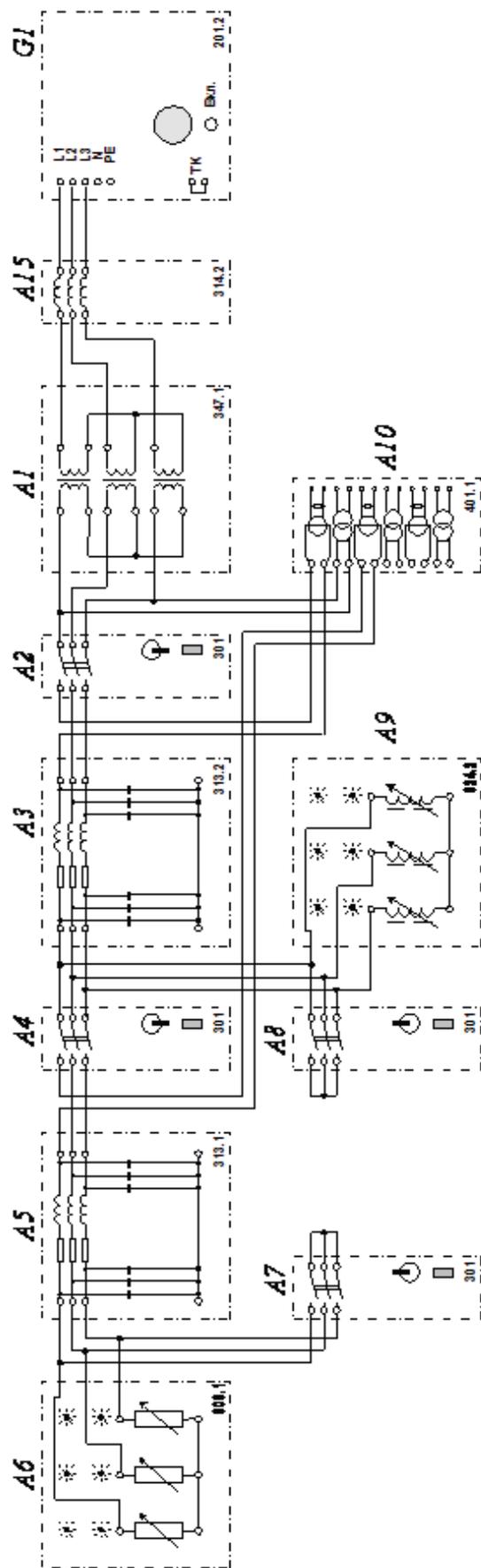


Рисунок 7.2. Электрическая схема соединений

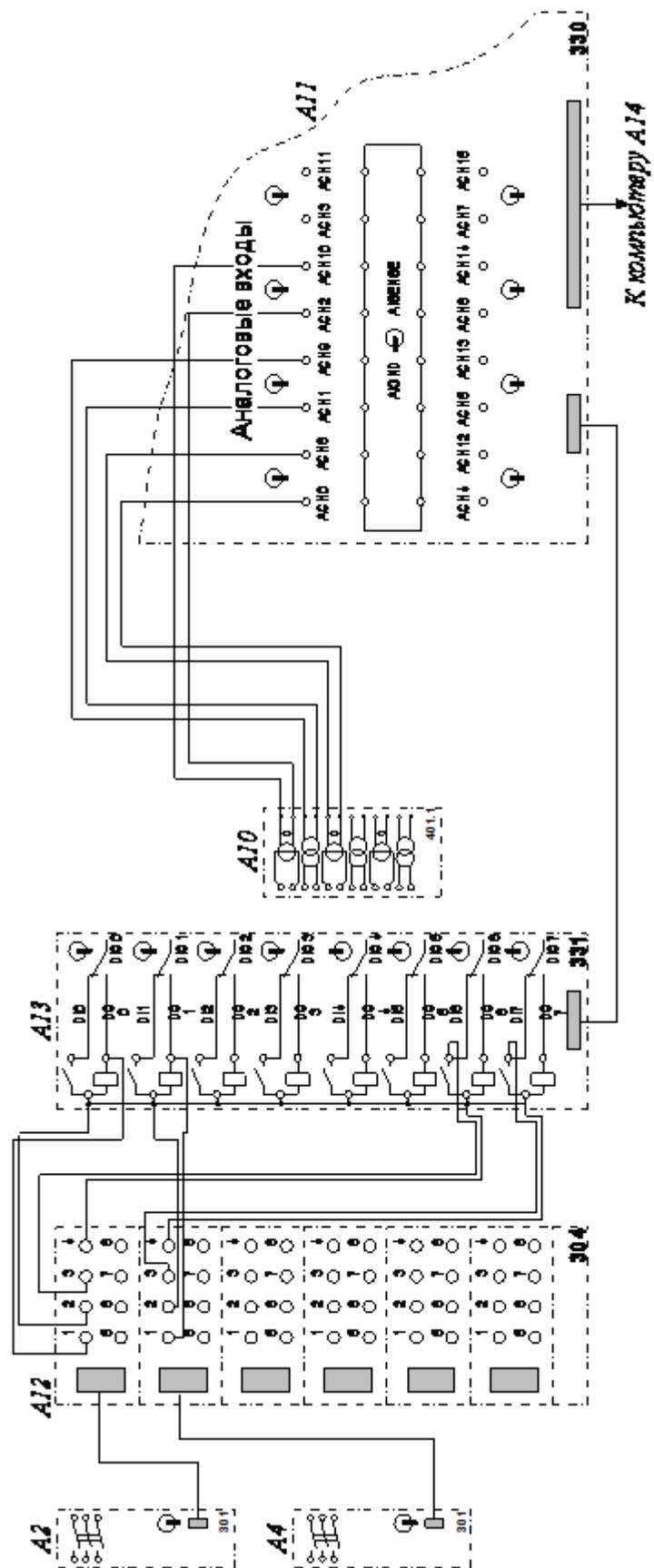


Рисунок 7.3. Электрическая схема соединений (продолжение)

## Порядок выполнения работы

Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания. Соединить гнезда «ТК» источника G1. Соединить гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рис.7.2 и рис.7.3).

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей А2 и А4 установить в положение «АВТ.», выключателей А7 и А8 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока А1 выставить равными, например, 230/230 В. Параметры линии электропередачи А3 переключателями установить, например, следующими:  $R = 200 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$ ,  $C1=C2=0 \text{ мкФ}$ ; линии электропередачи А5 - следующими:  $R = 50 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 0,3/8 \text{ Гн/Ом}$ ,  $C1=C2=0 \text{ мкФ}$ . Выбрать мощность активной нагрузки А6, например 100% от 50 Вт во всех трех фазах. Выбрать мощность индуктивной нагрузки А9, например 50% от 40 Вар во всех трех фазах.

Включить источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки. Включить выключатели «СЕТЬ» выключателей А2, А4, А7, А8, блока А13 ввода-вывода цифровых сигналов.

Привести в рабочее состояние персональный компьютер А14, войти в соответствующий каталог и запустить прикладную программу «МТЗ двух линий.exe».

Смоделировать требуемый вариант защиты, для чего задать уставки, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Нажать на виртуальную кнопку «Начать запись», ввести защиты нажатием на соответствующую кнопку и непосредственно после этого смоделируйте короткое замыкание в конце одной из линий, включив выключатели А7 или А8.

После отключения защитой «поврежденной» линии остановите запись. Проанализируйте отображенные осциллограммы токов и напряжений линий, а также появившуюся на экране информацию о последовательности произошедших событий.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А2, А4, А7, А8 и А13.

## Содержание отчета

1. Схема защиты, исследуемая в лабораторной работе.
2. Результаты расчетов уставок защиты.
3. Осциллограммы токов и напряжений линий при КЗ, моделируемых в работе.
4. Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Как выбирается уставка срабатывания отсечки?
2. Назовите основные достоинства и недостатки токовой отсечки.
3. Как осуществляется резервирование действия защит?
4. Почему при выборе тока срабатывания отсечки не учитывается коэффициент возврата токового реле?
5. Назначение пуска по напряжению в максимальной токовой защите.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

### ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ С БОЛЬШИМ ТОКОМ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

#### Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия, схему и методы расчета уставок защит от замыканий на землю, используемых в сетях с большим током замыкания на землю.

#### Пояснения к работе

Для защиты линий от коротких замыканий (КЗ) на землю (однофазных и двухфазных), применяется защита, реагирующая на ток и мощность нулевой последовательности. Необходимость специальной защиты от КЗ на землю вызывается тем, что этот вид повреждений является преобладающим, а защита, включаемая на ток и напряжение нулевой последовательности, осуществляется более просто и имеет ряд преимуществ по сравнению с токовой защитой, реагирующей на полные токи фаз.

В данной лабораторной работе моделируется сеть с односторонним питанием, к которой через трансформатор подключены активная и индуктивная нагрузки Р и Q (рис.8.1.). Короткие замыкания различных видов устраиваются в точке К на шинах этих нагрузок. Около шин источника питания G в каждую фазу сети включен трансформатор тока ТА.

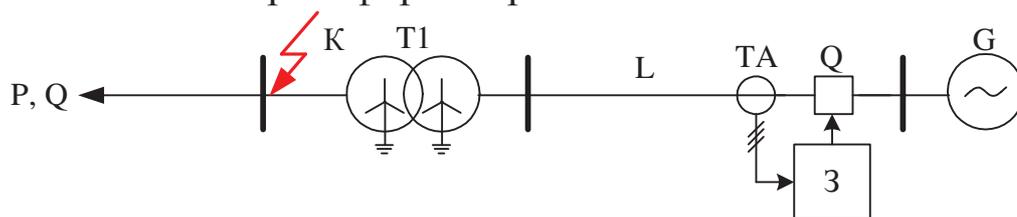


Рисунок 8.1. Схема включения защиты

С помощью специальной программы на компьютере моделируется защита от замыканий на землю. Критерием ее запуска служит превышение суммой фиксируемых токов значения заданной уставки. Правильно работающая защита должна срабатывать при однофазных и двухфазных замыканиях на землю и не должна срабатывать при трехфазных и двухфазных замыканиях. Электрическая схема соединений приведена на рис.8.2.

## Электрическая схема соединений

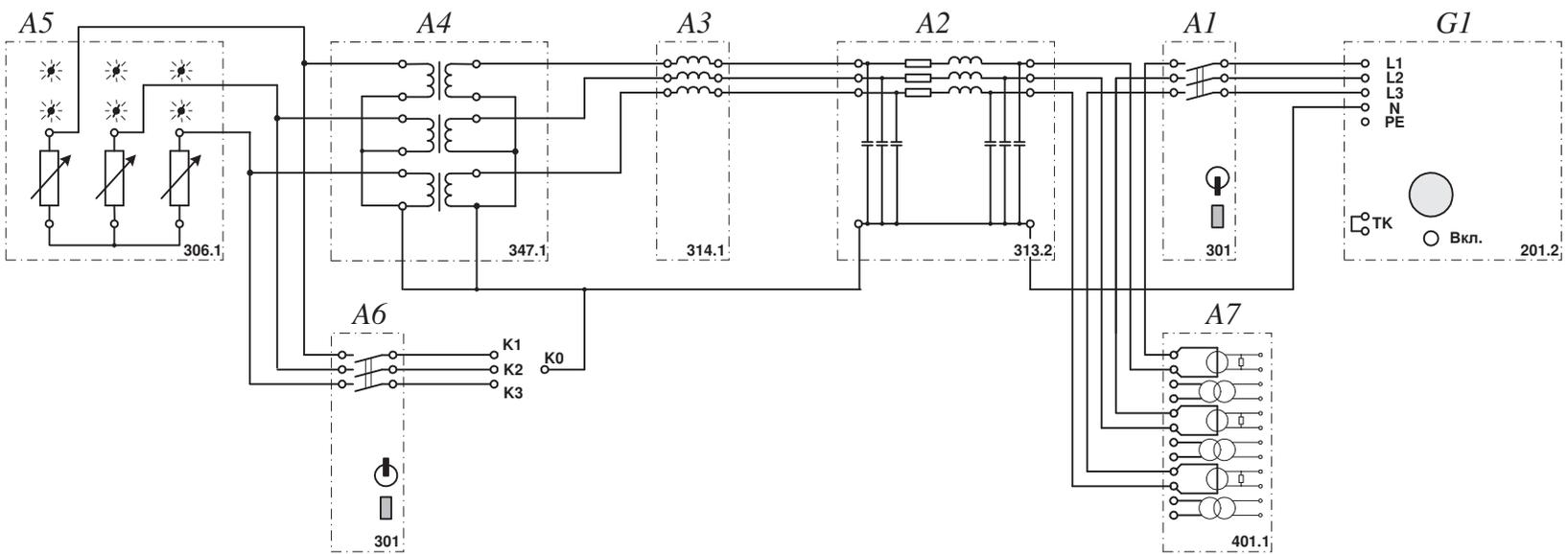


Рисунок 8.2. Электрическая схема соединений

Активная нагрузка, смоделированная блоком А5, подключена к трехфазному источнику питания G1 через последовательно соединенные трехфазную трансформаторную группу А4, линейный реактор А3, модель линии электропередачи А2 и трехполюсный выключатель А1.

Выключатель А6 включен параллельно активно-индуктивной нагрузке как короткозамыкатель. В разрыв цепей фаз источника питания G1 включены трансформаторы тока блока А7 измерительных трансформаторов тока и напряжения.

Вторичные обмотки трансформаторов тока блока А7 подключены к аналоговым входам коннектора А10, соединенного гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера А11.

Розетка «УПР.» трехполюсного выключателя А1 гибким кабелем подключена к розетке терминала А8, гнезда которого соединены с гнездами блока А9 ввода-вывода цифровых сигналов согласно электрической схеме соединений.

### Порядок выполнения работы

Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания. Соединить гнезда «ТК» источника G1. Соединить гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатель режимов работы трехполюсного выключателя А1 установить в положение «АВТ.», выключателя А6 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трехфазной трансформаторной группы А4 установить равными, например, 230/230 В. Параметры линии электропередачи А2 переключателями установить, например, следующими:  $R = 200 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$ ,  $C_1 = C_2 = 0 \text{ мкФ}$ . Выбрать мощность активной нагрузки А5, например, 100% от 50 Вт в используемых фазах.

Смоделировать интересующий вид короткого замыкания. Например, для короткого замыкания фаз А и В на землю соединить клеммы К1, К2 и К0 между собой.

Включить источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки. Включить

выключатели «СЕТЬ» выключателей А1 и А6, а также блока А9 ввода-вывода цифровых сигналов.

Привести в рабочее состояние персональный компьютер А11, войти в соответствующий каталог и запустить прикладную программу «Защита от замыканий на землю.exe». Задать уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Например, использовать уставки, заданные по умолчанию.

Нажать на виртуальную кнопку «Начать запись»; ввести защиту нажатием на соответствующую кнопку и непосредственно после этого смоделировать короткое замыкание, включив выключатель А6. После отключения защитой «поврежденной» линии, либо в случае длительного (дольше, чем задано уставкой времени) несрабатывания защиты вывести ее из работы и остановить запись. Проанализировать отображенные осциллограммы токов фаз и суммы токов фаз линии, состояние выключателя, а также информацию о последовательности произошедших событий в журнале работы защит, вызывать который можно нажатием на соответствующую кнопку.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А1, А6, А9.

### Содержание отчета

1. Схема защиты, исследуемая в лабораторной работе.
2. Параметры режимов КЗ, моделируемых в работе.
3. Результаты расчетов уставок защиты.
4. Выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Принцип действия защиты от замыканий на землю в сетях с эффективно-заземленной и глухозаземленной нейтралью.
2. Факторы, влияющие на работу защиты от замыканий на землю.
3. Способы повышения чувствительности защиты от замыканий на землю.
4. Сколько ступеней применяется в защитах от замыкания на землю?
5. Как выявляется ток нулевой последовательности в защитах от замыканий на землю?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

### ПРОДОЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

#### Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия, схему и методы расчета продольных дифференциальных защит линий.

#### Пояснения к работе

На линиях, отходящих от шин электростанций или узловых подстанций энергосистем, часто по условиям устойчивости требуется обеспечить отключение коротких замыканий (КЗ) без выдержки времени в пределах всей защищаемой линии электропередачи. К защитам, способным удовлетворить это условие, относятся дифференциальные защиты. Они обеспечивают мгновенное отключение КЗ в любой точке защищаемой линии и обладают селективностью при КЗ за пределами этой линии. Дифференциальные защиты подразделяются на продольные и поперечные.

Принцип действия продольных дифференциальных защит основан на сравнении величины и фазы токов в начале и конце защищаемой линии. В лабораторной работе моделируется линия электропередачи с двусторонним питанием, по концам которой установлены выключатели и трансформаторы (рис.9.1).

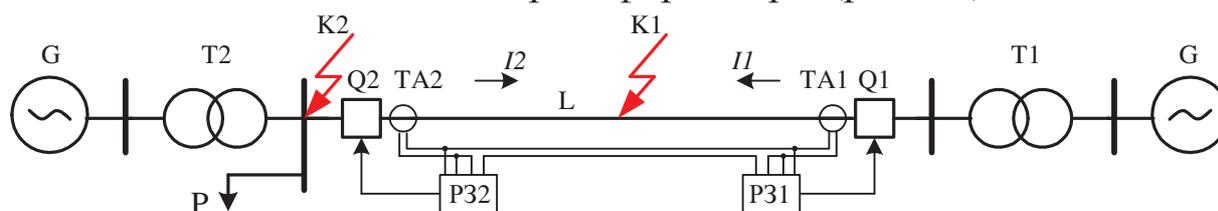


Рисунок 9.1. Схема подключения продольной дифференциальной защиты линии

Для реализации защиты по концам линии устанавливают трансформаторы тока TA1 и TA2 с одинаковым коэффициентом трансформации. Их вторичные обмотки соединяют и подключают к дифференциальному реле (P31, P32) таким образом, чтобы при внешних КЗ в точке K2 ток в реле был равен разности токов в начале и конце линии, а при КЗ на линии в точке K1 — их сумме.

Схема электрических соединений приведена на рис.9.2. и 9.3.

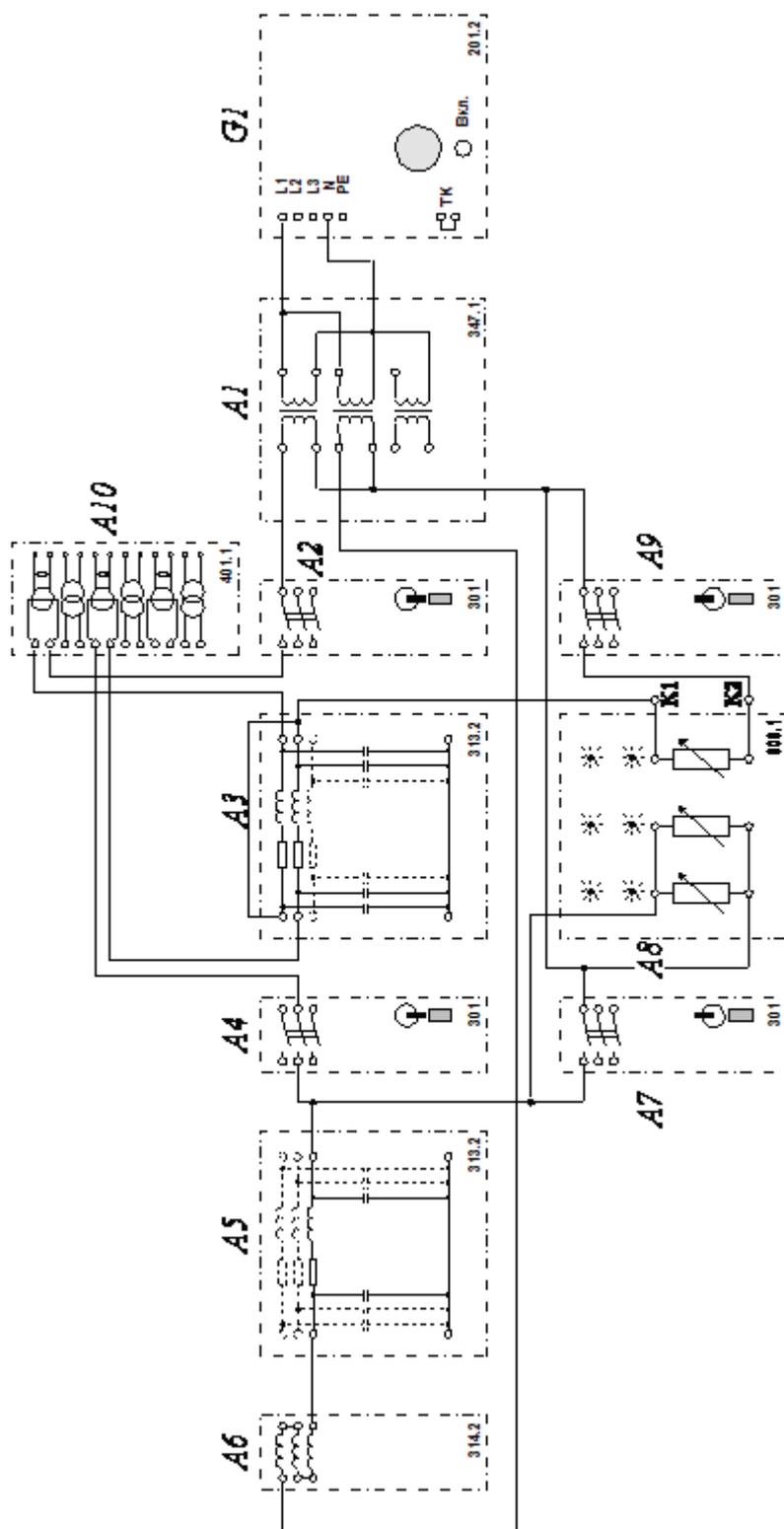


Рисунок 9.2. Электрическая схема соединений



С помощью специальной программы на компьютере моделируется продольная дифференциальная защита линии, которая может работать с использованием или без использования торможения от внешнего КЗ. В программе существует возможность имитировать погрешность трансформаторов тока. При срабатывании защита воздействует одновременно на выключатели Q1 и Q2.

В правильно собранной схеме защита без торможения должна срабатывать при КЗ на линии (точка K1) и не должна срабатывать при КЗ за ее пределами (точка K2).

Возможно также убедиться в том, что в случае КЗ через дугу дифференциальная защита без торможения не способна работать селективно ни при каких значениях уставок. Ввод в работу торможения позволяет создать селективную дифференциальную защиту.

Электрическая схема соединений представляет собой замкнутую кольцевую сеть, собранную в однофазном исполнении. Сеть получает питание от трехфазного источника G1 через два однофазных трансформатора трехфазной трансформаторной группы A1. Защищаемая линия образована двумя последовательно соединенными фазами модели линии электропередачи A3. Выключатели A2 и A4, отделяющие линию от сети в случае короткого замыкания на ней, включены по концам упомянутой линии.

Для ограничения токов короткого замыкания в сеть также включены линейный реактор A6 с последовательно соединенными фазами и одна фаза модели линии электропередачи A5. Активная нагрузка, образованная двумя параллельно соединенными фазами блока A8 активной нагрузки, подключена к сети около одного из концов линии электропередачи.

Выключатель A7 включен параллельно активной нагрузке как короткозамыкатель. Выключатель A9 подключен к середине защищаемой линии как короткозамыкатель через токоограничивающий резистор, имитирующий, например, короткое замыкание через дугу. В качестве токоограничивающего резистора использована третья фаза блока A8 активной нагрузки.

В разрыв цепей выключателей A2 и A4 включены трансформаторы тока блока A10 измерительных трансформаторов тока и напряжения.

Вторичные обмотки трансформаторов тока блока A10 подключены к аналоговым входам коннектора A13, соединенного

гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера А14.

Розетки «УПР.» трехполюсных выключателей А2 и А4 гибкими кабелями подключены к розеткам терминала А11, гнезда которого соединены с гнездами блока А12 ввода-вывода цифровых сигналов согласно электрической схеме соединений.

### Порядок выполнения работы

Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания. Соединить гнезда «ТК» источника G1. Соединить гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей А2 и А4 установить в положение «АВТ.», выключателей А8 и А9 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока А1 установить равными, например, 127/240 В. Параметры линий электропередач А3 и А5 переключателями установить, например, следующими:  $R = 150 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 0,9/24 \text{ Гн/Ом}$ ,  $C_1 = C_2 = 0 \text{ мкФ}$ . Выбрать мощность активной нагрузки А6, например, 100% от 50 Вт в фазах, используемых как активная нагрузка и 40% от 50 Вт в третьей фазе.

Смоделировать металлическое короткое замыкание в середине линии. Для этого соединить клеммы К1 и К2 между собой. Включить источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

Включить выключатели «СЕТЬ» выключателей А2, А4, А7, А9 а также блока А11 ввода-вывода цифровых сигналов.

Привести в рабочее состояние персональный компьютер А14, войти в соответствующий каталог и запустить прикладную программу «Продольная дифзащита.exe».

Задать уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Нажать на виртуальную кнопку «Начать запись», ввести защиту нажатием на соответствующую кнопку. Смоделировать короткое замыкание в зоне действия защиты, включив выключатель А9. После отключения защитой «поврежденной» линии проанализировать отображенные

осциллограммы токов. Прodelать эксперимент еще раз, моделируя короткое замыкание вне зоны действия защиты с помощью выключателя А7. Проанализировать полученные осциллограммы токов. Отключить источник питания G1, разомкнуть клеммы К1 и К2, симитировав тем самым короткое замыкание через дугу.

Вновь включить источник G1 и, проделав несколько экспериментов, убедиться, что при данных параметрах схемы реле без торможения не может обеспечить правильную работу защиты.

Ввести торможение (в окне задания уставок защиты). Прodelав эксперименты, убедиться, что защита теперь работает правильно.

### Содержание отчета

1. Схема защиты, исследуемая в лабораторной работе.
2. Осциллограммы токов при КЗ, моделируемых в работе.
3. Результаты расчетов уставок защиты.
4. Векторные диаграммы.
5. Выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Принцип действия дифференциальной защиты линии.
2. Факторы, влияющие на работу дифференциальной защиты.
3. Как определяется коэффициент чувствительности защиты.
4. Назначение торможения в дифференциальных защитах.
5. Какие схемы соединения обмоток трансформаторов тока используются в дифференциальных защитах?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

### ПОПЕРЕЧНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

#### Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия, схему и методы расчета уставок поперечных дифференциальных защит параллельных линий.

#### Пояснения к работе

Токовая поперечная дифференциальная защита предназначается для параллельных линий с общим выключателем на обе линии. При одностороннем питании параллельных линий защита устанавливается только со стороны источника питания, а в сети с двусторонним питанием – с обеих сторон параллельных линий.

В нормальном режиме работы, при внешних КЗ и качаниях по параллельным линиям протекают одинаковые токи. При КЗ на одной из защищаемых линий токи в линиях становятся разными. Следовательно, сопоставляя величину и фазу токов в параллельных линиях, можно устанавливать факт возникновения КЗ в зоне действия защиты.

При удалении точки КЗ от места установки защиты соотношение токов по поврежденной и неповрежденной линиям изменяется. Часть линий вблизи шин противоположной подстанции не охватывается защитой вследствие уменьшения разницы токов, на которую реагирует защита. Участок линий, в пределах которого при КЗ ток в защите недостаточен для ее срабатывания, называется мертвой зоной защиты.

Направленная поперечная дифференциальная защита применяется на параллельных линиях с самостоятельными выключателями на каждой линии. К защите таких линий предъявляется требование – отключать только ту из двух линий, которая повредилась.

На линиях с двусторонним питанием зона, в пределах которой направленная дифференциальная защита не действует пока поврежденная линия не отключится с противоположной стороны, называется зоной каскадного действия защиты. Зона каскадного

действия определяется на основе таких же соображений, как и мертвая зона ненаправленной дифференциальной защиты параллельных линий.

В рассматриваемой лабораторной работе моделируются две параллельные линии электропередачи L1 и L2 с двусторонним питанием (рис.10.1).

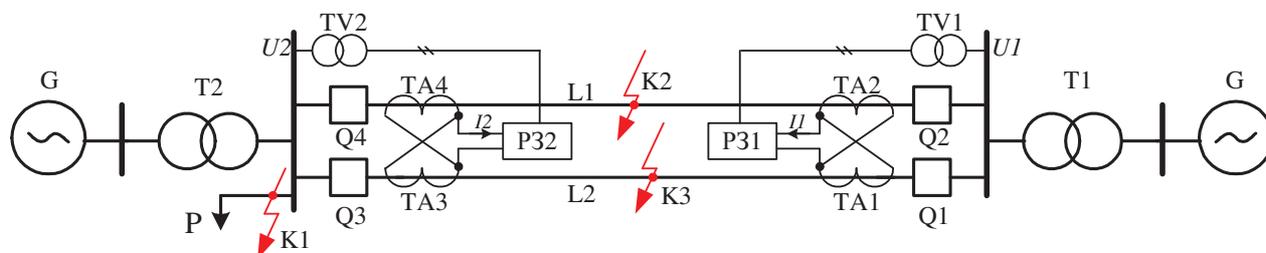


Рисунок 10.1. Схема подключения защиты

По концам каждой из них имеются выключатели Q1-Q4 и трансформаторы тока TA1-TA4. К шинам, питающим линии, подключены трансформаторы напряжения TV1 и TV2. От шин подстанции 2 получает питание нагрузка P.

Короткие замыкания устраиваются на обеих линиях электропередачи (в точках K2, K3), а также на питающих их шинах вне зоны действия защиты (в точке K1).

На компьютере с помощью специальной программы моделируются дифференциальные защиты, установленные с обеих сторон линий L1 и L2. Каждая из защит может быть ненаправленная – в таком случае она воздействует на оба выключателя вместе, или направленная – тогда защита определяет, где именно возникло повреждение и воздействует лишь на один выбранный выключатель. При этом любую защиту можно отключить и рассматривать работу оставшейся защиты отдельно.

Электрическая схема соединений представляет собой замкнутую кольцевую сеть (рис.10.2 и 10.3), собранную в однофазном исполнении. Сеть получает питание от трехфазного источника G1 через два однофазных трансформатора блока A1. Каждая из защищаемых параллельных линий образована последовательно соединенными фазами моделей A4 и A5 линий электропередач. Линии подсоединены к упомянутым трансформаторам через выключатели A2, A3, A6, A7.

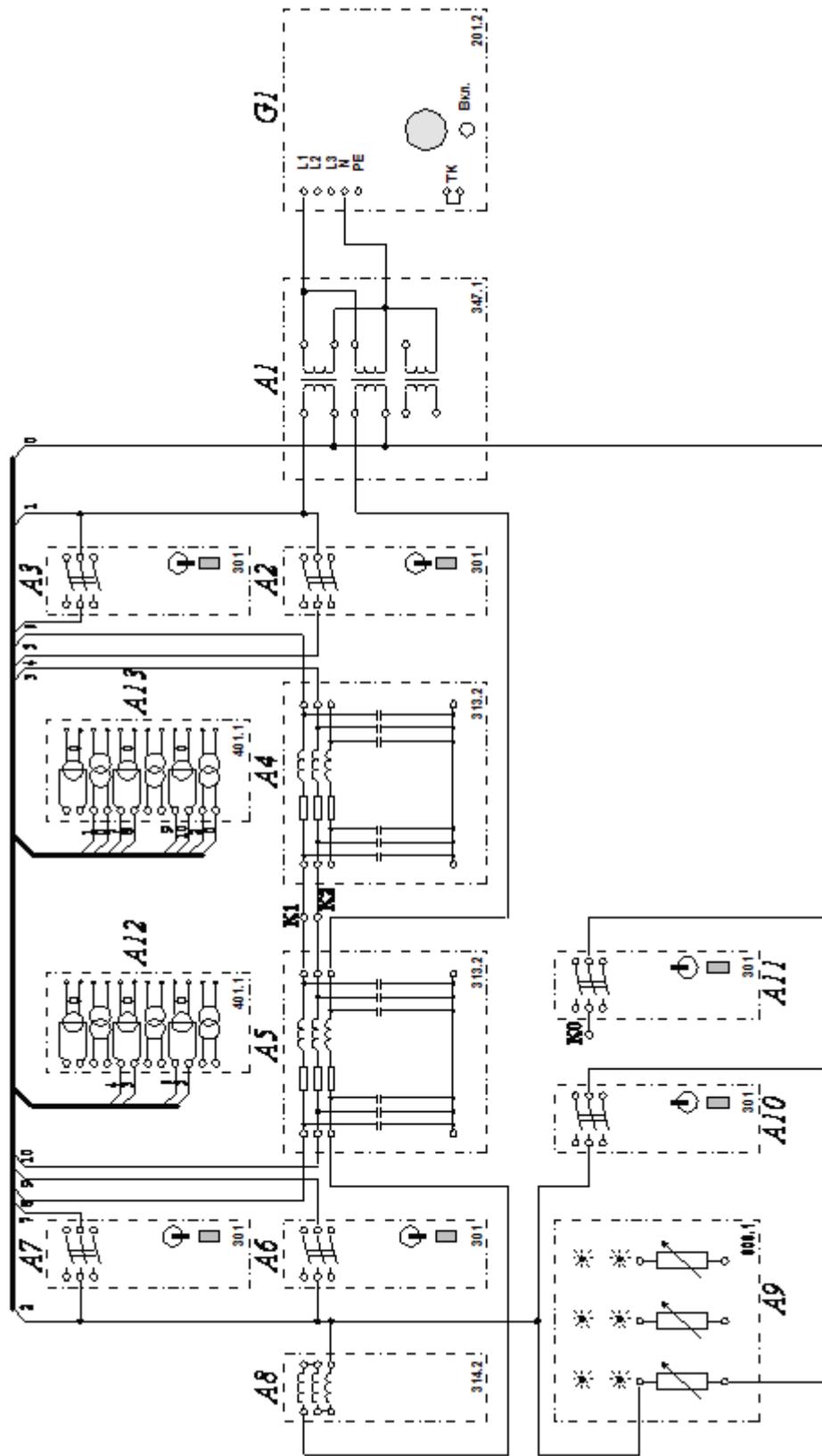


Рисунок 10.2. Электрическая схема соединений

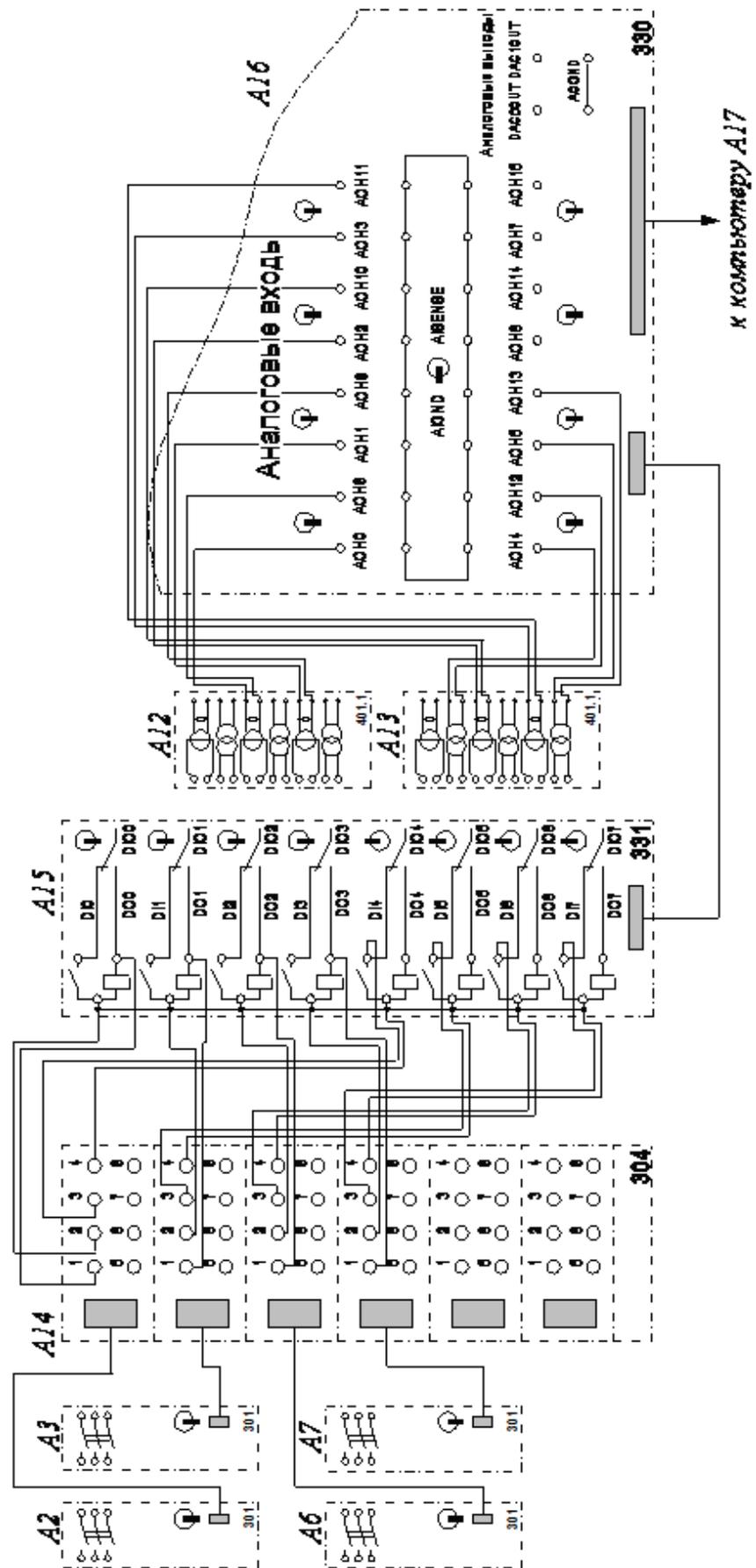


Рисунок 10.3. Электрическая схема соединений (продолжение)

От кольцевой сети получает питание активная нагрузка, образованная одной фазой блока А9. Реактор А8 с последовательно соединенными фазами, а также третья фаза модели линии А5 служат для ограничения токов короткого замыкания в схеме.

Выключатель А10 включен параллельно активной нагрузке как короткозамыкатель. Выключатель А11 путем соединения клемм К0 и К1 или К0 и К2 может также включаться как короткозамыкатель, моделируя замыкание на одной из параллельных защищаемых линий.

В разрыв цепей выключателей А2, А3, А6 и А7 включены трансформаторы тока блоков А12, А13 измерительных трансформаторов тока и напряжения. К шинам защищаемых линий присоединены трансформаторы напряжения блока А13.

Вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения блоков А12, А13 подключены к аналоговым входам коннектора А16, соединенного гибким шлейфом с платой ввода/вывода РСІ6024Е персонального компьютера А17.

Розетки «УПР.» трехполюсных выключателей А2, А3, А6, А7 гибкими кабелями подключены к розеткам терминала А14, гнезда которого соединены с гнездами блока А15 ввода-вывода цифровых сигналов согласно электрической схеме соединений.

### Порядок выполнения работы

Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания. Соединить гнезда «ТК» источника G1. Соединить гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей А2, А3, А6, А7 установить в положение «АВТ.», выключателей А10 и А11 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока А1 выставить равными, например, 127/230 В. Параметры линий электропередачи А3 и А5 переключателями установить, например, следующими:  $R = 150 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 0,9/24 \text{ Гн/Ом}$ ,  $C_1 = C_2 = 0 \text{ мкФ}$ . Выбрать мощность активной нагрузки А9, например, 100% от 50 Вт в используемой фазе.

Смоделировать короткое замыкание на одной из защищаемых линий. Например, для замыкания на первой линии соедините гнезда

K0 и K1 между собой. Включить источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки. Включить выключатели «СЕТЬ» выключателей A2, A3, A6, A7, A10, A11 а также блока A15 ввода-вывода цифровых сигналов.

Привести в рабочее состояние персональный компьютер A17, войти в соответствующий каталог и запустить прикладную программу «Поперечная дифзащита.exe».

Задать уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Нажать на виртуальную кнопку «Начать запись», ввести защиту нажатием на соответствующую кнопку. Смоделировать короткое замыкание в зоне действия защиты, включить выключатель A11. После отключения защитой «поврежденной» линии проанализировать осциллограммы токов и напряжений.

Проделать эксперимент еще раз, моделируя короткое замыкание вне зоны действия защиты с помощью выключателя A10. Проанализировать полученные осциллограммы токов и напряжений.

Используя окно задания уставок, смоделировать направленные дифференциальные защиты. Повторить эксперимент. Убедиться в том, что отключается лишь та линия, на которой произошло «повреждение».

Установить параметры линии A5 следующими:  $R = 50 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 0,3/8 \text{ Гн/Ом}$ . Повторить эксперимент, моделируя замыкание в зоне действия защиты. Убедитесь в том, что короткое замыкание смоделировано в зоне каскадного действия защит. Проанализируйте полученные осциллограммы и журнал работы защит, обращая внимание на последовательность произошедших событий.

По завершении экспериментов отключить источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков A2, A3, A6, A7, A10, A11, A15.

### Содержание отчета

1. Схема защиты, исследуемая в лабораторной работе.
2. Осциллограммы токов при КЗ, моделируемых в работе.
3. Результаты расчетов уставок защиты.
4. Векторные диаграммы.
5. Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Принцип действия поперечной дифференциальной защиты линии.
2. Факторы, влияющие на работу дифференциальной защиты.
3. Как определяется коэффициент чувствительности защиты.
4. С чем связано возникновение зон каскадного действия и мертвых зон защиты?
5. Какие схемы соединения обмоток трансформаторов тока используются в поперечных дифференциальных защитах?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

### МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА

#### Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия, схему и методы расчета уставок токовых защит трансформаторов.

#### Пояснения к работе

Защита от внешних коротких замыканий (КЗ) служит для отключения трансформатора при КЗ на сборных шинах или на отходящих от нее присоединениях, если защиты или выключатели этих элементов отказали в работе.

Наиболее простой защитой от внешних КЗ является токовая максимальная защита. В тех случаях, когда ее чувствительность оказывается недостаточной, применяются более чувствительные токовые максимальные защиты с пуском по напряжению.

В данной лабораторной работе моделируется силовой трансформатор (см. рис.11.1), подключенный через трехполюсные выключатели одной своей стороной к источнику питания, а другой – к нагрузке.

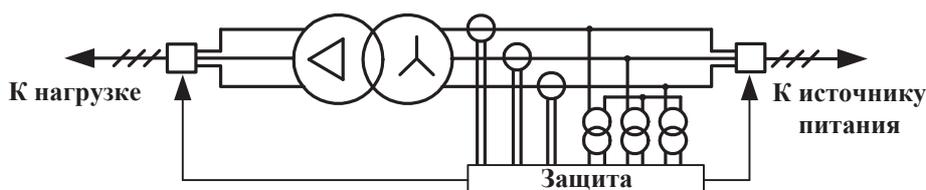


Рисунок 11.1. Схема подключения защиты к трансформатору

В цепь первичной обмотки трансформатора включены трансформаторы тока и напряжения. С помощью специальной программы на компьютере моделируется максимальная токовая защита трансформатора, она действует одновременно на оба выключателя. При правильно собранной схеме и корректно выбранных уставках защита должна действовать на отключение при вышеуказанных коротких замыканиях. Электрическая схема соединений приведена на рис.11.2 и рис.11.3.

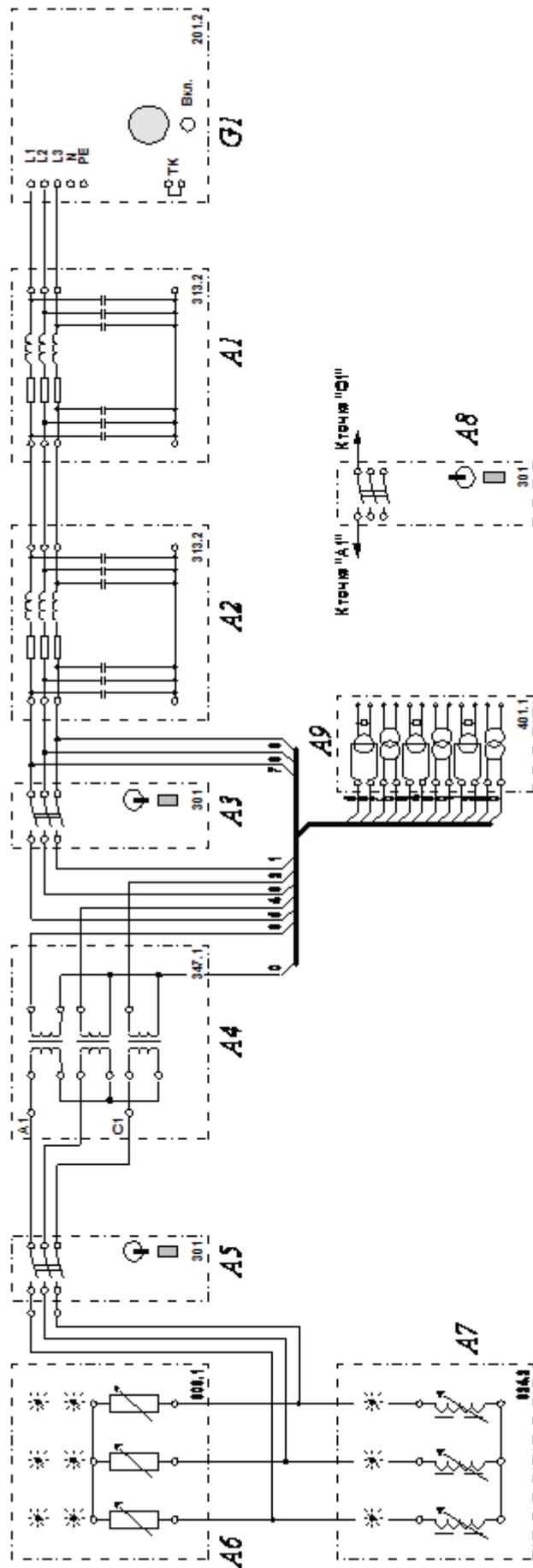


Рисунок 11.2. Электрическая схема соединений

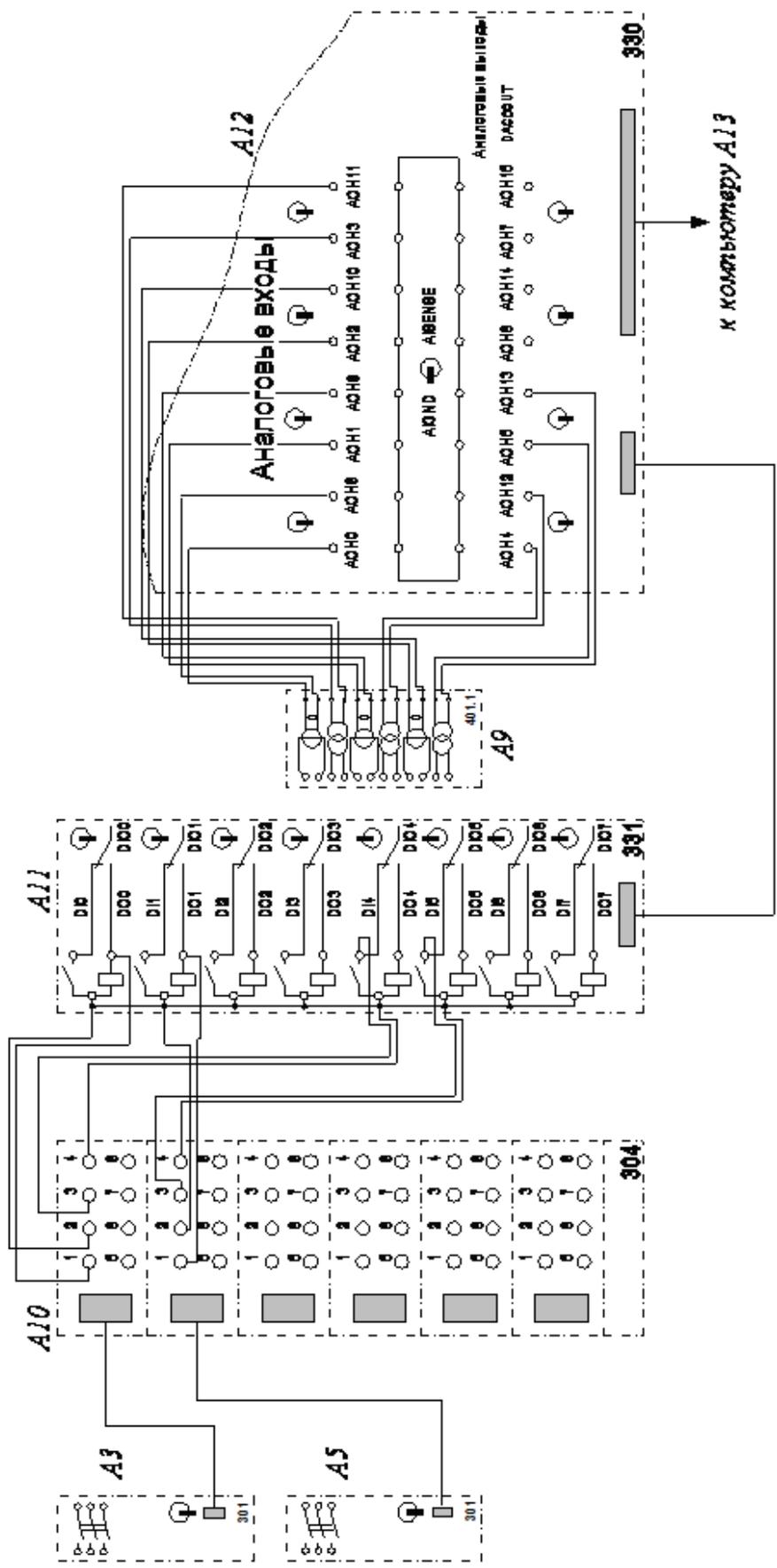


Рисунок 11.3. Электрическая схема соединений (продолжение)

Активная нагрузка и индуктивная нагрузки А6 и А7 подключены к трехфазному источнику питания G1 через последовательно соединенные линии электропередачи А1 и А2, трехполюсные выключатели А3 и А5 и трехфазную трансформаторную группу А4.

Токи и напряжения фаз первичных обмоток трехфазной трансформаторной группы А4 фиксируются с помощью измерительных трансформаторов тока и напряжения блоков А19.

Трехполюсный выключатель А8 включается как короткозамыкатель в указанные на электрической схеме соединения точки.

Вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения блока А9 подключены к аналоговым входам коннектора А12, соединенного гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера А13.

Розетки «УПР.» трехполюсных выключателей А3 и А5 гибкими кабелями подключены к розеткам терминала А10, гнезда которого соединены с гнездами блока А11 ввода-вывода цифровых сигналов согласно электрической схеме соединений.

### Порядок проведения работы

Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания. Соединить гнезда «ТК» источника G1. Соединить гнезда защитного заземления "» устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей А3 и А5 установить в положение «АВТ.»., выключателя А8 – в положение «РУЧН.». Номинальное вторичное фазное напряжение трехфазной трансформаторной группы А4 выставить равным, например 230 В. Параметры линий электропередачи А1 и А2 переключателями установить, например, следующими:  $R = 200 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$ ,  $C1=C2=0 \text{ мкФ}$ . Величины активных нагрузок блока А6 выставить равными, например, 40% от 50 Вт во всех трех фазах, индуктивных блока А7 – 25 % от 40 Вар во всех трех фазах.

Включить источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки. Включить

выключатели «СЕТЬ» выключателей А3, А5, А8, блока А11 ввода-вывода цифровых сигналов.

Привести в рабочее состояние персональный компьютер А13, войти в соответствующий каталог и запустить прикладную программу «МТЗ трансформатора.exe».

Задать уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Начать запись, ввести защиту. Смоделировать короткое замыкание, включив выключатель А8.

После срабатывания защиты проанализировать состояние схемы и записанные программой осциллограммы токов. Повторить эксперимент, смоделировав короткое замыкание другого вида (например, трехфазное или двухфазное между другими фазами обмоток трансформатора).

Повторить эксперимент, соединив обмотки трансформатора А4 в треугольник.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А3, А5, А8, А11.

#### Содержание отчета

1. Схема подключения защиты к трансформатору.
2. Выбор уставок максимальной токовой защиты трансформатора.
3. Осциллограммы токов при КЗ.
4. Выводы по работе

#### Контрольные вопросы

1. Как выбирается уставка по току для максимальной токовой защиты трансформатора?
2. Как обеспечивается селективность действия максимальной токовой защиты трансформатора?
3. Как определяется чувствительность защиты?
4. Способы повышения чувствительности.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

### ПРОДОЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА

#### Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия, схему и методы расчета уставок дифференциальных защит трансформаторов.

#### Пояснения к работе

Принцип действия дифференциальной защиты трансформаторов основан на сравнении величины и направления токов до и после трансформатора. При внешнем КЗ и нагрузке токи с обоих концов трансформатора направлены в одну сторону, и находятся в определенном соотношении, равным коэффициенту трансформации трансформатора. При КЗ в трансформаторе токи направлены встречно от шин к месту повреждения. В первом случае защита не должна действовать, во втором – должна работать. С учетом этого и выполняется схема защиты.

Измерительные трансформаторы тока, питающие схему, устанавливаются с обеих сторон защищаемого трансформатора. Дифференциальное реле включается параллельно вторичным обмоткам трансформаторов тока. Для того, чтобы защита не работала при нагрузке и внешних КЗ, необходимо уравновесить вторичные токи в плечах защиты так, чтобы ток в реле, равный их разности, отсутствовал. Это является условием селективности защиты при внешних КЗ.

Выравнивание первичного и вторичного токов защищаемого трансформатора с соединением обмоток звезда-треугольник по фазе осуществляется соединением в треугольник вторичных обмоток трансформаторов тока, устанавливаемых со стороны звезды силового трансформатора. Соединение в треугольник обмоток трансформаторов тока должно точно соответствовать соединению в треугольник обмоток силового трансформатора. Трансформаторы тока, расположенные на стороне треугольника силового трансформатора, соединяются в звезду.

Выравнивание величин вторичных токов в плечах

дифференциальной защиты достигается подбором коэффициентов трансформации трансформаторов тока дифференциальной защиты и параметров специально для этой цели устанавливаемых трансформаторов или автотрансформаторов.

Величина тока небаланса в дифференциальной защите трансформаторов оказывается обычно большей, чем в дифференциальной защите линий и шин, что объясняется наличием дополнительных составляющих в токе небаланса. Еще одним фактором, влияющим на работу дифференциальной защиты, являются броски тока намагничивания при включении трансформатора под напряжение.

В данной лабораторной работе моделируется трансформатор (см. рис.12.1), обмотки которого могут иметь схему соединения звезда-звезда или звезда-треугольник. Одна сторона трансформатора подключена к источнику питания, другая – к нагрузке. С обеих сторон трансформатора включены измерительные трансформаторы тока и трехполюсные выключатели.

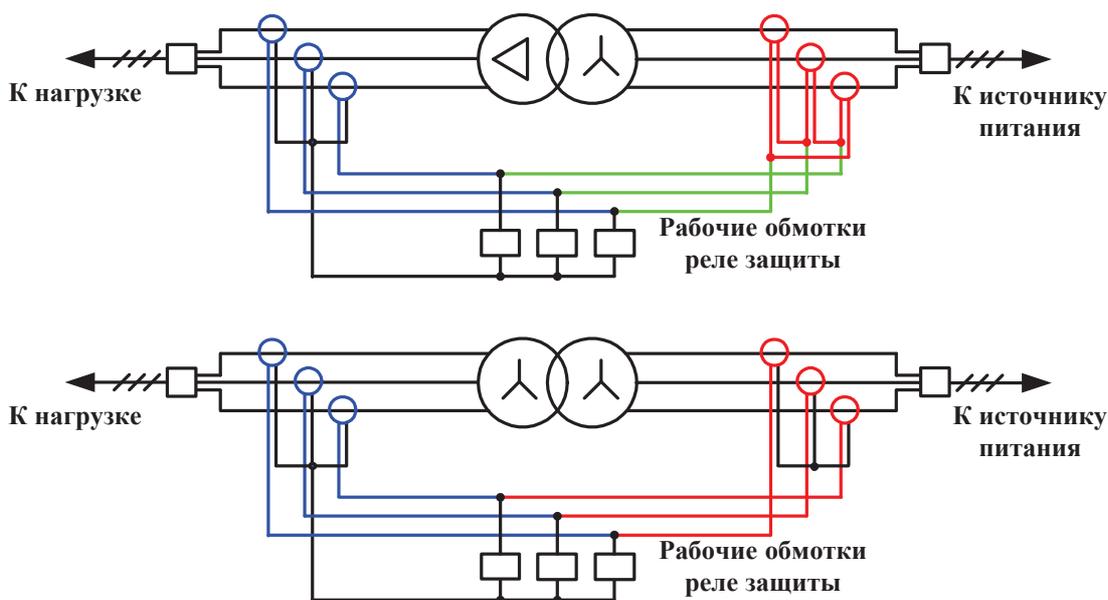


Рисунок 12.1. Схема подключения защиты к трансформатору

На компьютере с помощью специальной программы моделируется дифференциальная защита трансформатора. Защита настраивается под нужное соединение и напряжение обмоток силового трансформатора. Также защита может работать с торможением от тока внешнего КЗ или без него. При срабатывании защита воздействует на оба выключателя. Схема электрических соединений приведена на рис.12.2 и 12.3.



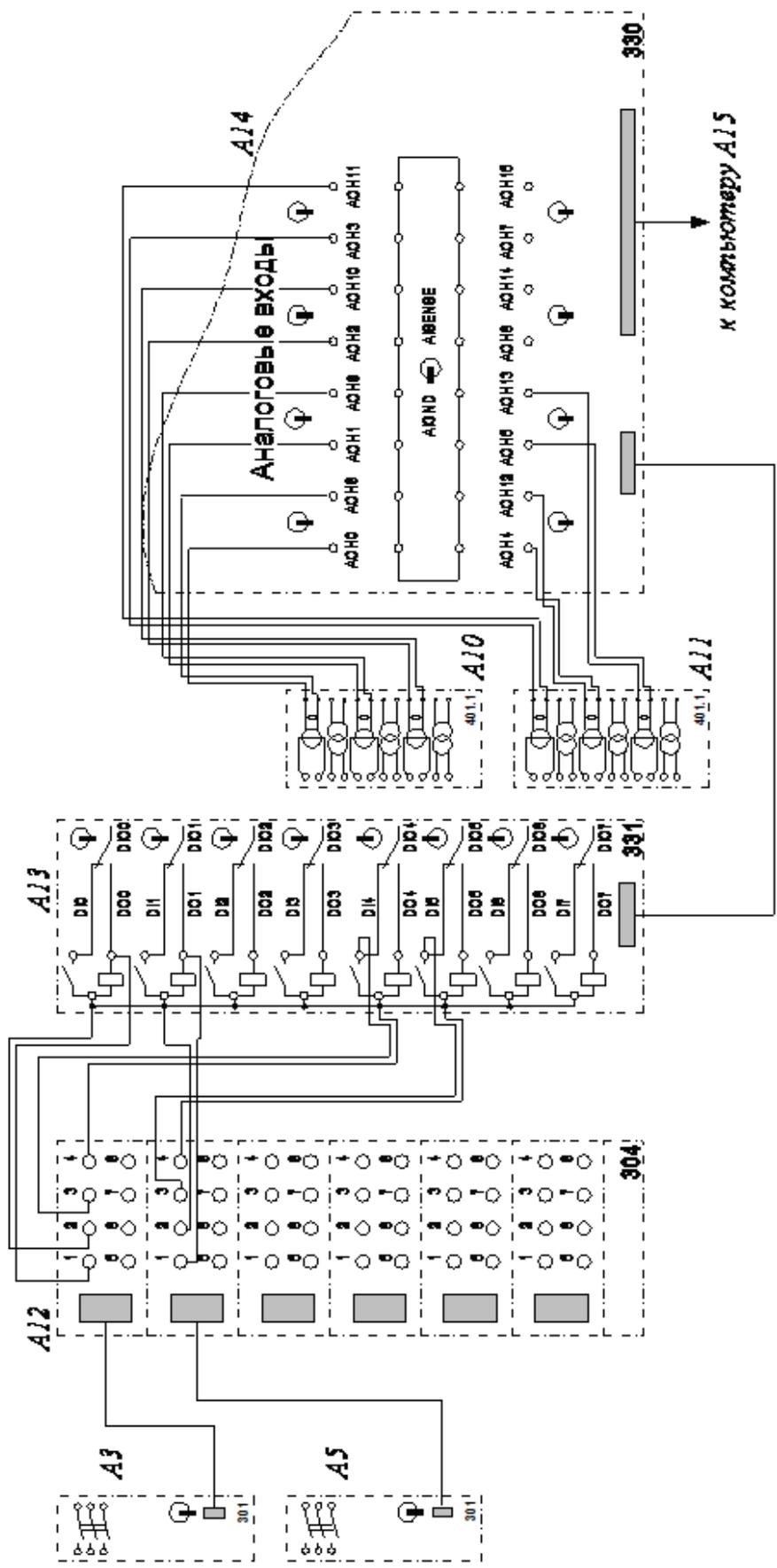


Рисунок 12.3. Электрическая схема соединений (продолжение)

Активная и индуктивная нагрузки А6 и А7 подключены к трехфазному источнику питания G1 через последовательно соединенные линии электропередачи А1 и А2, трехполюсные выключатели А3 и А5 и трехфазную трансформаторную группу А4, первичная обмотка которой соединена в звезду, а вторичная (регулируемая) может соединяться как в звезду (вариант 1), так и в треугольник (вариант 2).

Токи фаз первичной и вторичной обмоток трехфазной трансформаторной группы А4 фиксируются с помощью измерительных трансформаторов тока блоков А11 и А10 соответственно. Трехполюсные выключатели А8 и А9 включаются как короткозамыкатели в указанные на электрической схеме соединений точки.

Вторичные обмотки трансформаторов тока блоков А10 и А11 подключены к аналоговым входам коннектора А14, соединенного гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера А15.

Розетки «УПР.» трехполюсных выключателей А3 и А5 гибкими кабелями подключены к розеткам терминала А12, гнезда которого соединены с гнездами блока А13 ввода-вывода цифровых сигналов согласно электрической схеме соединений.

### Порядок выполнения работы

Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания. Соединить гнезда «ТК» источника А1. Соединить гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (вариант 1).

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей А3 и А5 установить в положение «АВТ.»., выключателей А8 и А9 – в положение «РУЧН.». Номинальное вторичное фазное напряжение трехфазной трансформаторной группы А4 выставить равным, например 230 В. Параметры линий электропередачи А1 и А2 переключателями установите, например, следующими:  $R = 200 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$ ,  $C1=C2=0 \text{ мкФ}$ . Величины обеих нагрузок переключателями выставить равными 100 % во всех трех фазах.

Включить источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки. Включить выключатели «СЕТЬ» выключателей А3, А5, А8, А9 блока А13 ввода-вывода цифровых сигналов.

Привести в рабочее состояние персональный компьютер А15, войти в соответствующий каталог и запустить прикладную программу «Дифференциальная защита трансформатора.exe».

Задать уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Обратит внимание, что схема соединения обмоток трансформатора и его вторичное напряжение в окне задания уставок защиты должны соответствовать аналогичным параметрам, реально присутствующим в схеме.

Начать запись, ввести защиту. Смоделировать короткое замыкание вне зоны действия защиты, включив выключатель А9.

Через 0,5-1 секунду отключить выключатель А9, вывести защиту, остановите запись. Проанализировать записанные программой токи защиты.

Вновь начать запись, ввести защиту.

Смоделировать короткое замыкание в зоне действия защиты, включив выключатель А8. После срабатывания защиты проанализировать состояние схемы и записанные программой осциллограммы токов.

Изменить вторичное напряжение трансформаторной группы А4, в окне задания уставок защиты измените значение соответствующего поля ввода. Повторить эксперименты.

Соедините вторичную обмотку трехфазной трансформаторной группы А4 в треугольник (согласно электрической схеме соединений, вариант 2).

Соответствующим образом изменить уставки защиты. Повторить эксперименты.

По завершении экспериментов отключить источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А3, А5, А8, А9, А13.

### Содержание отчета

1. Схема подключения защиты к трансформатору.
2. Уставки защиты.
3. Осциллограммы токов при различных КЗ.
4. Выводы по работе.

## 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 со 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 № 13

### ТОКОВАЯ ЗАЩИТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

#### Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия, схему и методы расчета уставок токовых защит асинхронных двигателей.

#### Пояснения к работе

Защита от КЗ между фазами является основной защитой электродвигателей. В качестве такой защиты применяется токовая защита мгновенного действия (токовая отсечка), отстроенная от пусковых токов и токов самозапуска электродвигателей.

В данной лабораторной работе моделируется асинхронный двигатель М, питающийся через кабельную линию электропередачи L и силовой трансформатор Т от трехфазного источника G (см. рис.13.1). Двигатель нагружен на приводной механизм, подверженный перегрузкам (смоделированный машиной постоянного тока).

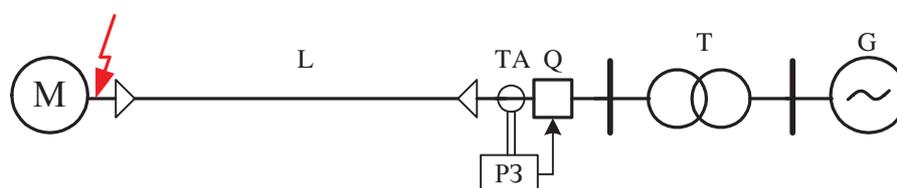


Рисунок 13.1. Схема подключения токовых защит к асинхронному двигателю

На компьютере с помощью специальной программы смоделирована защита двигателя от КЗ и перегрузки. Характеристика защиты может быть зависимой от тока КЗ или независимой от него. Кроме того, в случае зависимой характеристики, последняя может иметь или не иметь участок отсечки.

В рамках выполнения лабораторной работы можно провести опыт короткого замыкания электродвигателя; убедиться в том, что защита отстроена (или нет) от пусковых токов и токов самозапуска; смоделировать перегрузку двигателя из-за увеличения момента сопротивления приводного механизма. Схема электрических соединений приведена на рис.13.2 и 13.3.

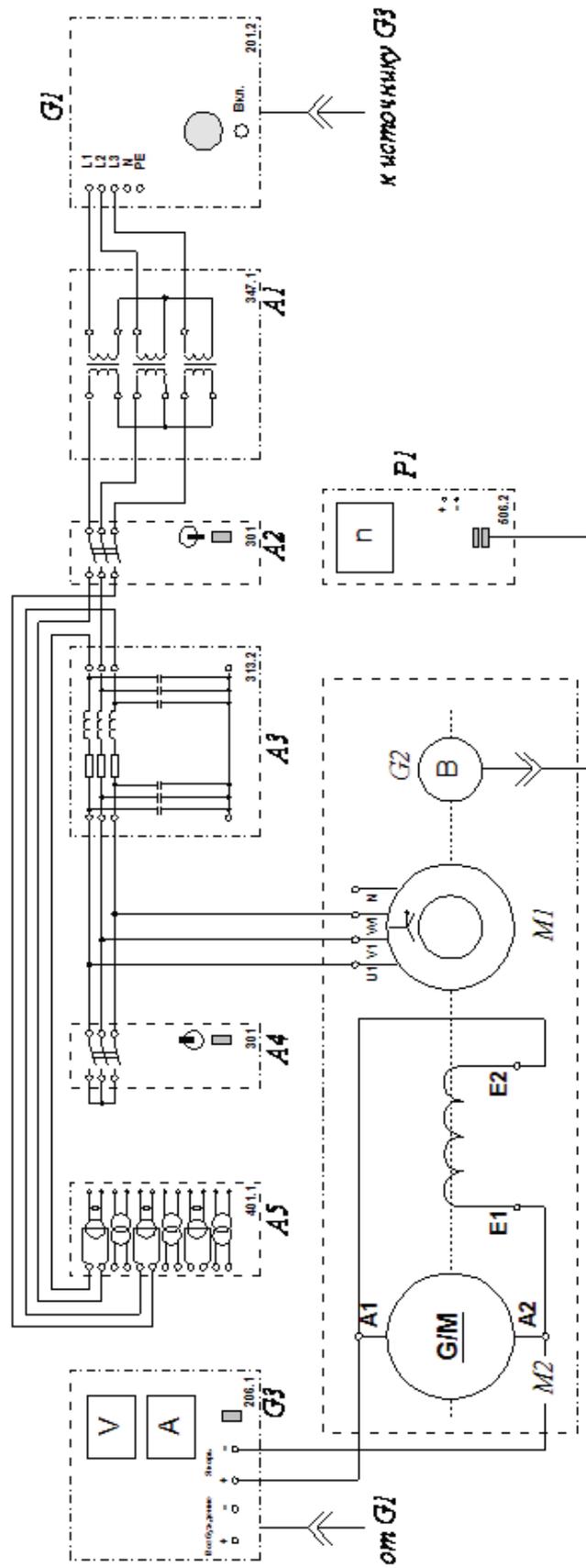


Рисунок 13.2. Электрическая схема соединений

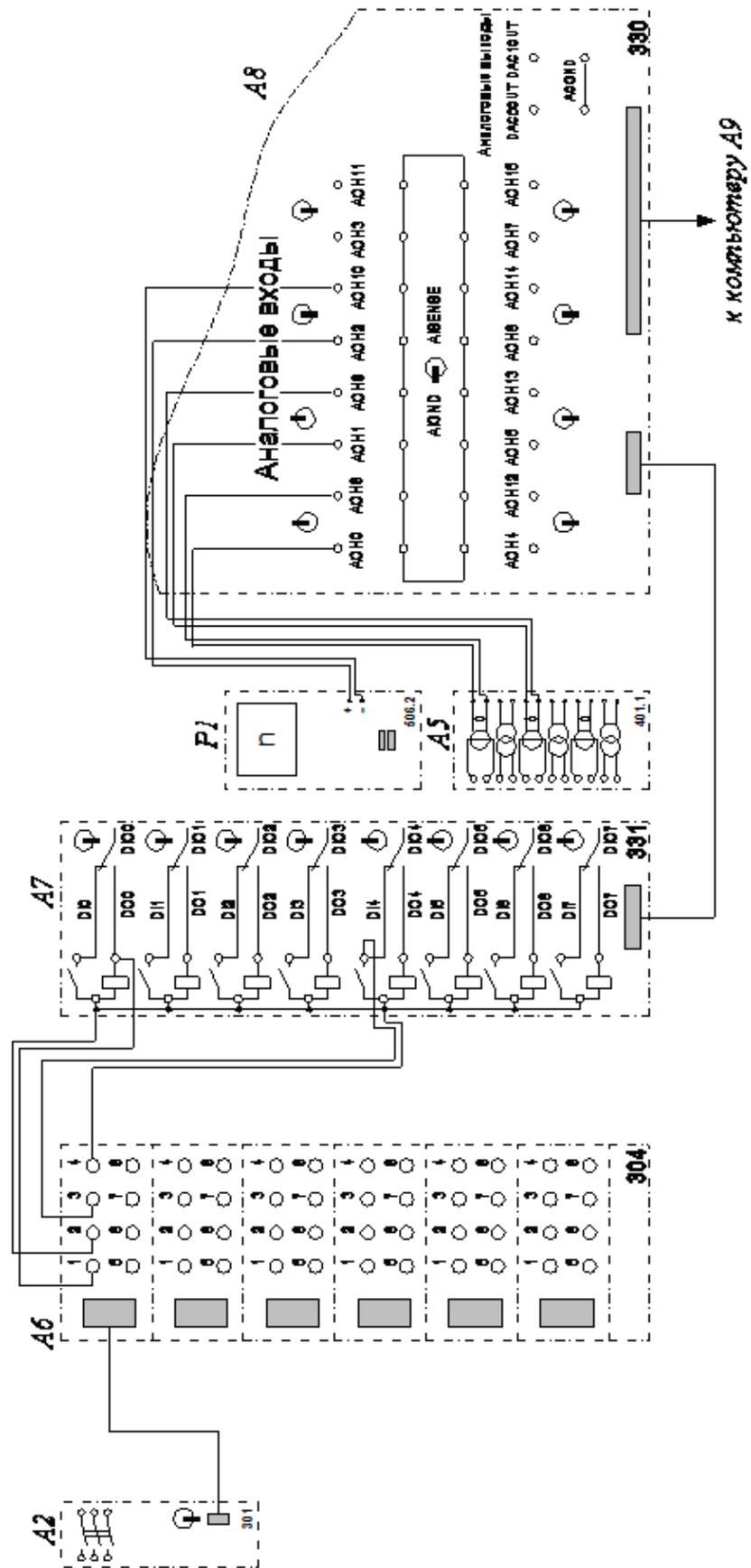


Рисунок 13.3. Электрическая схема соединений (продолжение)

Машина переменного тока, работающая как асинхронный двигатель, питается от трехфазного источника G1 через последовательно включенные трехфазную трансформаторную группу A1, трехполюсный выключатель A2 и модель линии электропередачи A3. Токи фаз А и С за выключателем A2 фиксируются с помощью включенных в схему измерительных трансформаторов тока блока A5. Трехполюсный выключатель A4 подключен как короткозамыкатель к зажимам асинхронного двигателя.

На одном валу с двигателем располагается машина постоянного тока, включенная в режиме электромагнитного тормоза с параллельным возбуждением, получающая питание от регулируемого выхода «ЯКОРЬ» источника G3.

Вторичные обмотки трансформаторов тока блока A5 подключены к аналоговым входам коннектора A8, соединенного гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера A9.

Розетка «УПР.» трехполюсного выключателя A2 гибким кабелем подключена к розетке терминала A6, гнезда которого соединены с гнездами блока A7 ввода-вывода цифровых сигналов согласно электрической схеме соединений.

### Порядок выполнения работы

Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания. Собрать электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока. Соединить гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатель режима работы трехполюсного выключателя A2 установить в положение «АВТ.», выключателя A4 – в положение «РУЧН.». Номинальное вторичное фазное напряжение трехфазной трансформаторной группы A1 выставить равным 230 В. Параметры линии электропередачи A3 переключателями установить, например, следующими:  $R = 0$  Ом,  $L/R_L = 0,6/16$  Гн/Ом,  $C1 = C2 = 0$  мкФ.

Включить источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки. Включить выключатели «СЕТЬ» выключателей A2, A4, блока A7 ввода-вывода

цифровых сигналов, указателя частоты вращения P1, источника питания G3.

Привести в рабочее состояние персональный компьютер А9, войти в соответствующий каталог и запустить прикладную программу «МТЗ двигателя.exe». Задать уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Начать запись, ввести защиту. После того, как двигатель развернется, смоделировать короткое замыкание, включив выключатель А4.

После отключения защитой выключателя А2 проанализируйте записанные программой осциллограммы токов и изменения частоты вращения асинхронного двигателя. Вновь начать запись, ввести защиту. Вращая рукоятку источника питания G3 двигателя постоянного тока, установить на его выходе напряжение, равное, например, 40 В.

Смоделировать перегрузку асинхронного двигателя, включив источник питания G3 кнопкой «ВКЛ». После отключения выключателя А2 отключить источник питания G3 нажатием на его кнопку «ОТКЛ» и повернуть ручку регулирования напряжения этого источника влево до упора. Проанализировать записанные программой осциллограммы токов и изменения частоты вращения асинхронного двигателя.

По завершении экспериментов отключить источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А2, А4, P1, G3.

### Содержание отчета

1. Схема подключения защиты к двигателю.
2. Выбор уставок токовых защит двигателя.
3. Осциллограммы работы двигателя при КЗ и перегрузке.
4. Выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Как выбираются уставки токовой защиты двигателя?
2. Как обеспечивается селективность действия максимальной токовой защиты двигателя?
3. Как определяется чувствительность защит?
4. Способы повышения чувствительности защит.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

### ПРОДОЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

#### Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия, схему и методы расчета уставок дифференциальных защит асинхронных двигателей.

#### Пояснения к работе

На электродвигателях 5000 кВт и более установка дифференциальной защиты является обязательной. Дифференциальная защита дает возможность получить значительно большую чувствительность, чем максимальная токовая защита. В данной лабораторной работе моделируется асинхронный двигатель М (рис.14.1), питающийся от сети через выключатель Q и кабельную линию электропередачи L. Трансформаторы тока включены в две фазы на нулевых выводах двигателя и у начала кабельной линии.

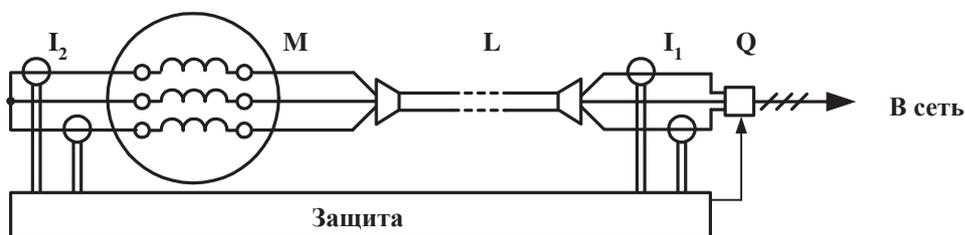


Рисунок 14.1. Схема подключения дифференциальной защиты к асинхронному двигателю

Короткое замыкание можно устраивать на выводах двигателя или на линии, соединяющей выключатель с источником питания. На компьютере с помощью специальной программы смоделирована дифференциальная защита, реагирующая на превышение разностью токов  $I_1$  и  $I_2$  в одноименных фазах значения уставки и воздействующая на выключатель Q. Защита может работать с торможением от тока внешнего КЗ или без него. Электрическая схема соединений приведена на рис.14.2 и 14.3.

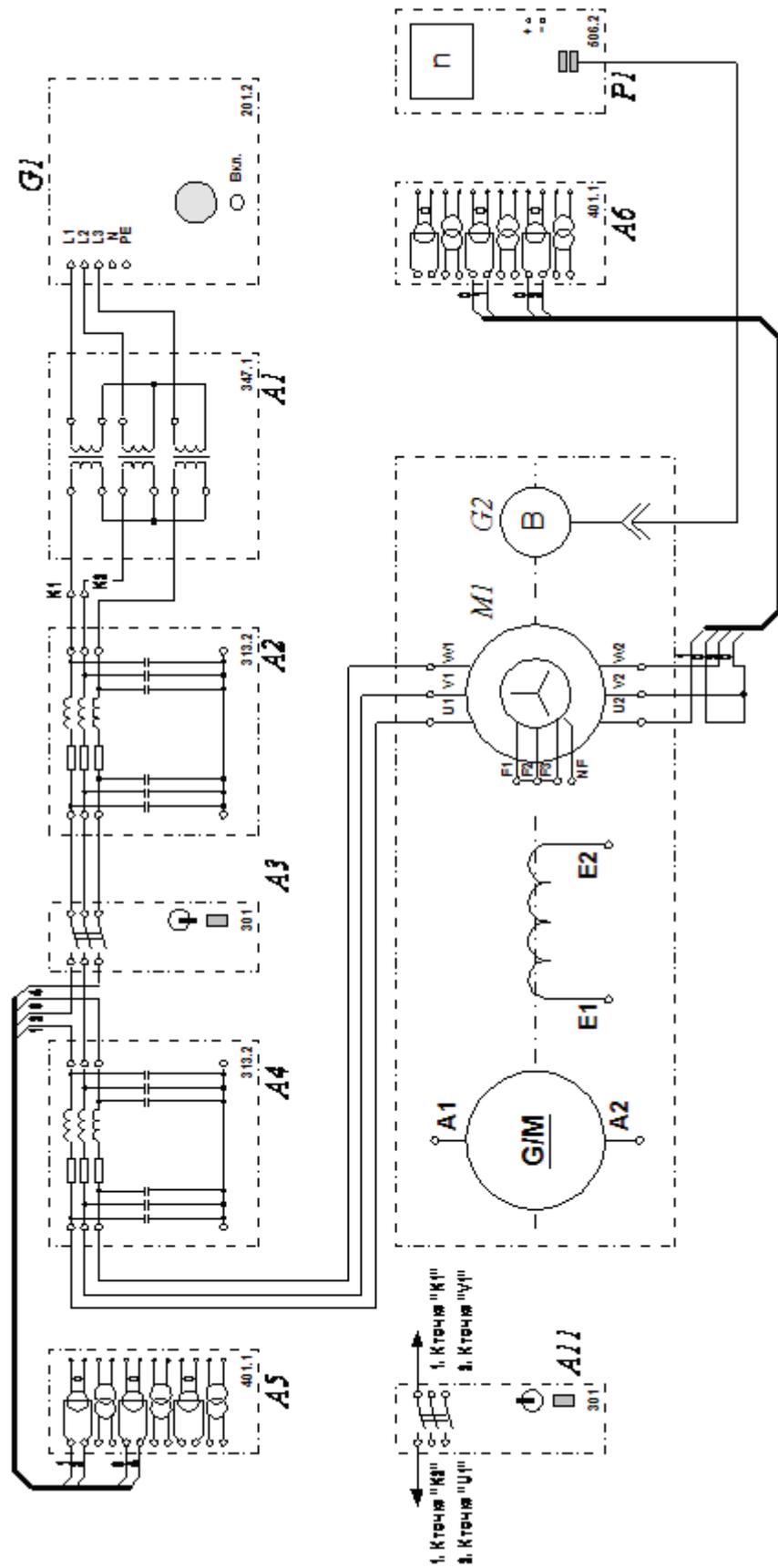


Рисунок 14.2. Электрическая схема соединений

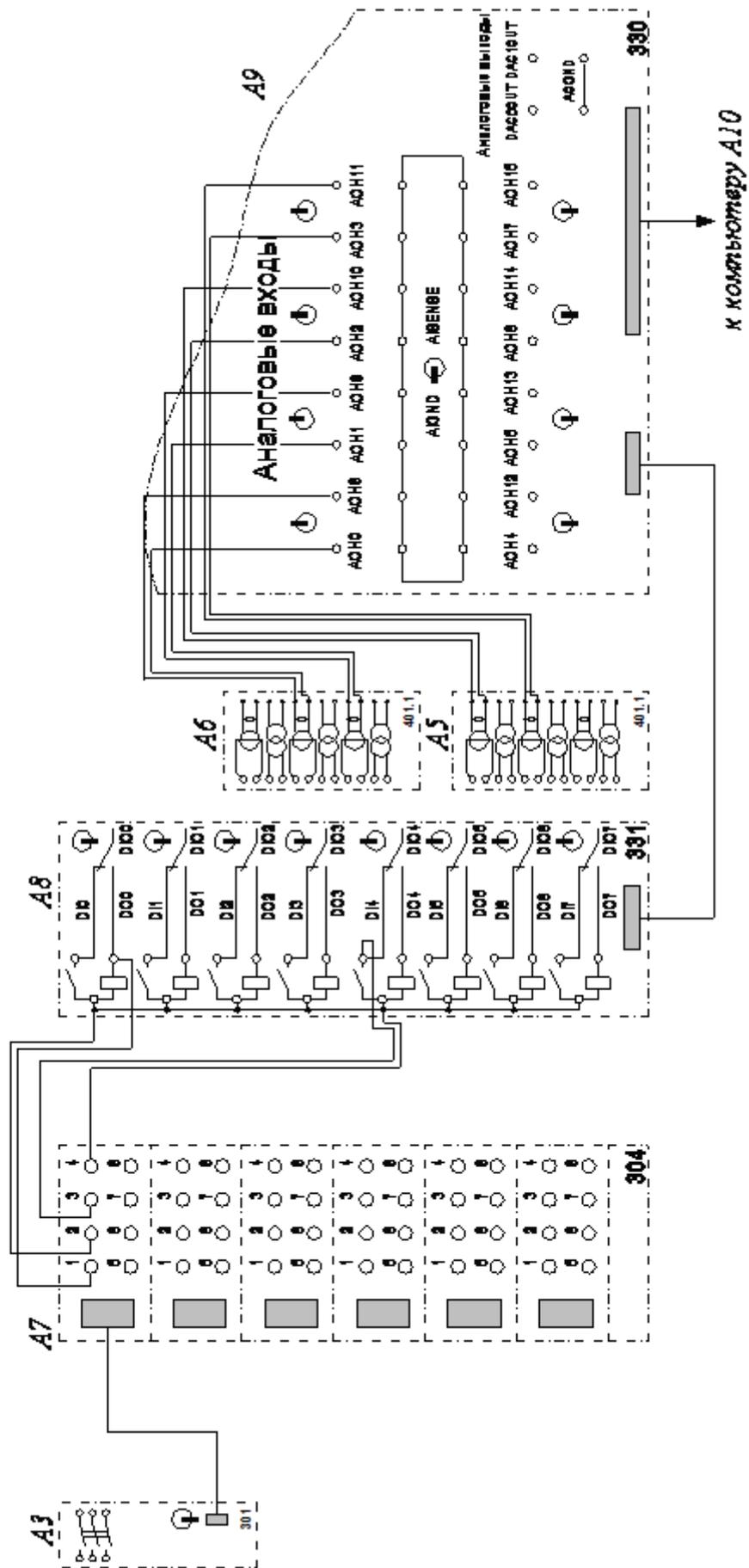


Рисунок 14.3. Электрическая схема соединений (продолжение)

Машина переменного тока М1, включенная как асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, питается от трехфазного источника G1 через последовательно соединенные трехфазную трансформаторную группу А1, линии электропередачи А2 и А4 и трехполюсный выключатель А3.

Токи фаз А и С за выключателем А3 и в нейтрали двигателя М1 фиксируются с помощью включенных в схему измерительных трансформаторов тока блоков А5 и А6 соответственно.

Трехполюсный выключатель А11 может подключаться как короткозамыкатель к различным точкам схемы внутри и вне зоны действия моделируемой дифференциальной защиты.

Вторичные обмотки трансформаторов тока блоков А5 и А6 подключены к аналоговым входам коннектора А9, соединенного гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера А10.

Розетка «УПР.» трехполюсного выключателя А3 гибким кабелем подключена к розетке терминала А7, гнезда которого соединены с гнездами блока А8 ввода-вывода цифровых сигналов согласно электрической схеме соединений.

### Порядок выполнения работы

Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания. Собрать электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока. Соединить гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений. Выключатель А11 подключить к точкам К1, К2 схемы.

Переключатель режима работы трехполюсного выключателя А3 установить в положение «АВТ.», выключателя А11 – в положение «РУЧН.». Номинальное вторичное фазное напряжение трехфазной трансформаторной группы А1 выставить равным 230 В. Параметры линии электропередачи А2 переключателями установить, например, следующими:  $R = 0$  Ом,  $L/R_L = 0,6/16$  Гн/Ом,  $C1=C2=0$  мкФ; линии электропередачи А4 - следующими:  $R = 0$  Ом,  $L/R_L = 0,3/8$  Гн/Ом,  $C1=C2=0$  мкФ.

Включить источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки. Включить

выключатели «СЕТЬ» выключателей А3, А11, блока А8 ввода-вывода цифровых сигналов, указателя частоты вращения Р1.

Привести в рабочее состояние персональный компьютер А10, войти в соответствующий каталог и запустить прикладную программу «Дифзащита двигателя.exe». Задать уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку.

Начать запись, ввести защиту. После того, как двигатель развернется, смоделировать короткое замыкание вне зоны действия защиты, включив выключатель А11.

Через 1-2 секунды отключить выключатель А11, вывести защиту, остановить запись. Проанализировать записанные программой осциллограммы токов схемы.

Подключить выключатель А11 к точкам U1, W1 схемы. Вновь начать запись, ввести защиту и смоделировать короткое замыкание в зоне ее действия, включив выключатель А11. После отключения защитой выключателя А3 проанализировать записанные программой осциллограммы токов.

По завершении экспериментов отключить источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А3, А8, А11, Р1.

### Содержание отчета

1. Схема подключения защиты к асинхронному двигателю.
2. Выбор уставок дифференциальной защиты асинхронного двигателя.
3. Осциллограммы работы двигателя при КЗ в зоне действия защиты и вне зоны действия.
4. Выводы по работе

### Контрольные вопросы

1. Как выбираются уставки дифференциальной защиты асинхронного двигателя?
2. Как обеспечивается селективность действия дифференциальной защиты асинхронного двигателя?
3. Как определяется чувствительность защиты?
4. Способы повышения чувствительности защиты.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

### ЗАЩИТА МИНИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

#### Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия, схему и методы расчета уставок защит асинхронных двигателей от понижения напряжения.

#### Пояснения к работе

Защита минимального напряжения устанавливается на электродвигателях, которые необходимо отключать при понижении напряжения для обеспечения самозапуска ответственных электродвигателей или самозапуск которых при восстановлении напряжения недопустим по условиям техники безопасности или особенности технологического процесса.

В данной лабораторной работе моделируется асинхронный двигатель М (см. рис.15.1), подключенный через кабельную линию L1 и выключатель Q к сборным шинам, от которых питаются некоторые нагрузки Р, Q. В свою очередь, шины получают питание через линию электропередачи L2 и силовой трансформатор Т от источника питания G.

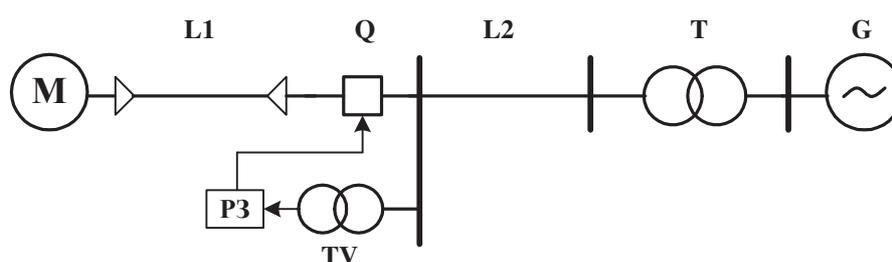


Рисунок 15.1. Схема подключения защиты к двигателю

К сборным шинам подключены три трансформатора напряжения TV, сигнал от которых используется в качестве исходных данных для работы защиты, смоделированной на компьютере с помощью специальной программы.

Схема электрических соединений приведена на рис.15.2 и 15.3.

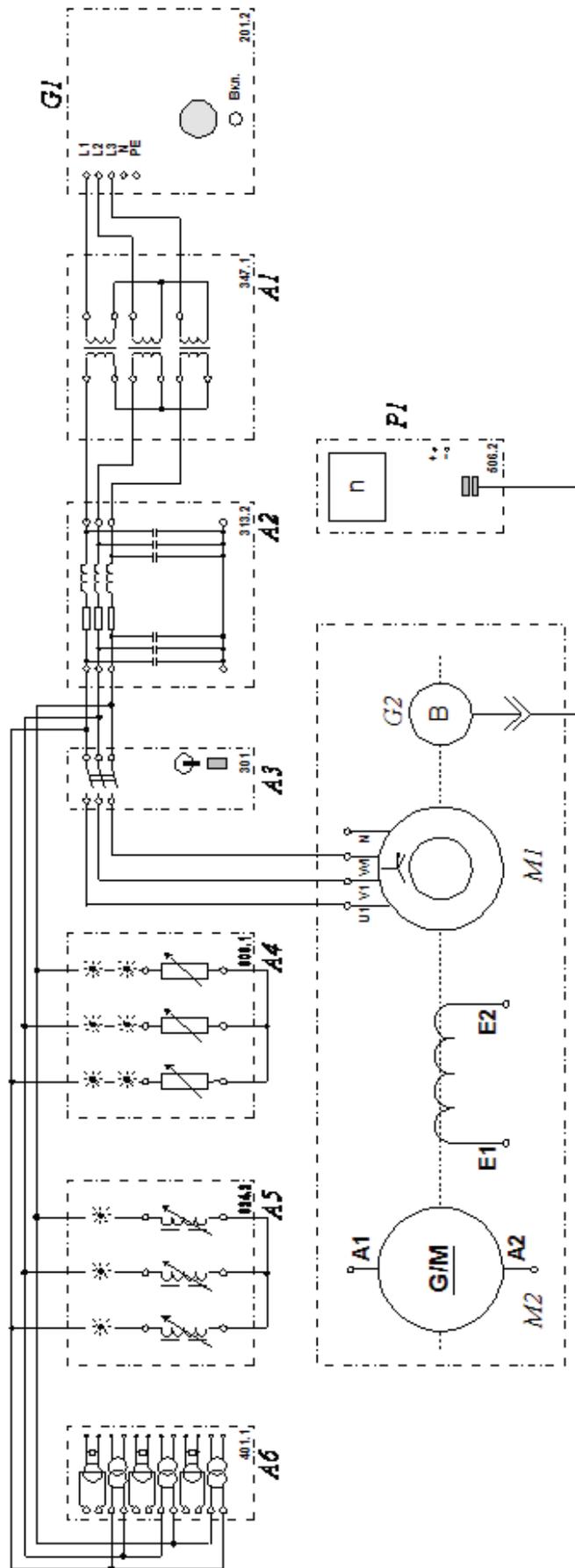


Рисунок 15.2. Электрическая схема соединений

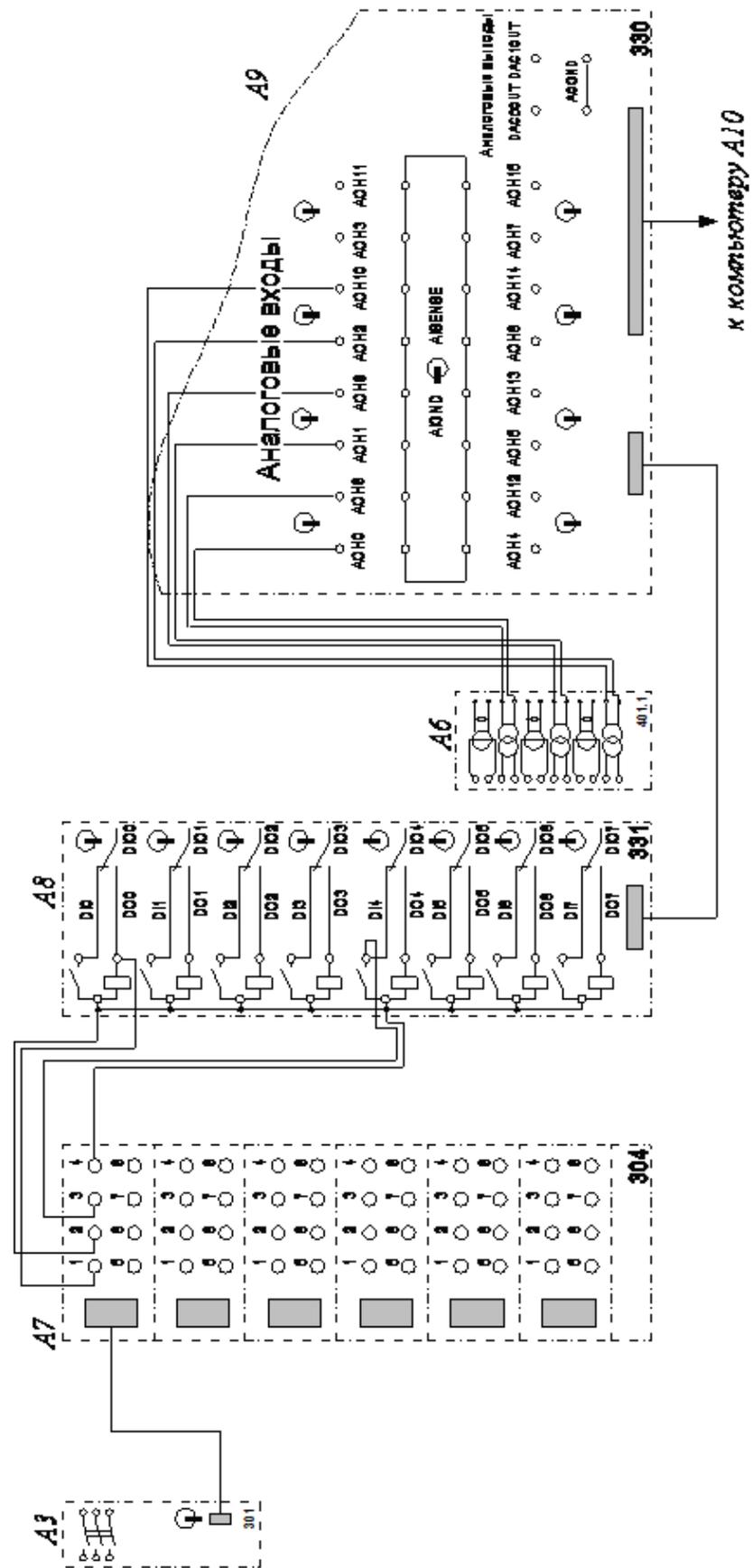


Рисунок 15.3. Электрическая схема соединений (продолжение)

Машина переменного тока М1, включенная как асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, питается от трехфазного источника G1 через последовательно соединенные трехфазную трансформаторную группу А1, линию электропередачи А2 и трехполюсный выключатель А3.

Параллельно двигателю М1 включены активная и индуктивные нагрузки А4 и А5 соответственно. Междупазные напряжения двигателя АВ, ВС и СА фиксируются с помощью измерительных трансформаторов напряжения блока А6.

Вторичные обмотки трансформаторов напряжения блока А6 подключены к аналоговым входам коннектора А9, соединенного гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера А10.

Розетка «УПР.» трехполюсного выключателя А2 гибким кабелем подключена к розетке терминала А7, гнезда которого соединены с гнездами блока А8 ввода-вывода цифровых сигналов согласно электрической схеме соединений.

### Порядок выполнения работы

Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания. Собрать электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока. Соединить гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатель режима работы трехполюсного выключателя А3 установить в положение «АВТ.». Номинальное вторичное фазное напряжение трехфазной трансформаторной группы А1 выставить равным 235 В. Параметры линии электропередачи А2 переключателями установить, например, следующими:  $R = 50$  Ом,  $L/R_L = 0,9/24$  Гн/Ом,  $C1 = C2 = 0$  мкФ. Значения всех нагрузок выставить равными нулю.

Включить источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки. Включить выключатели «СЕТЬ» выключателя А3, блока А8 ввода-вывода цифровых сигналов, указателя частоты вращения Р1.

Привести в рабочее состояние персональный компьютер А10, войти в соответствующий каталог и запустить прикладную программу «Защита двигателя от понижения напряжения.exe».

Задать уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Начать запись, ввести защиту. Проанализировать работу защиты во время разгона двигателя.

После того, как двигатель развернется, увеличивать значения нагрузок до тех пор, пока таймер защиты не запустится. Дождаться срабатывания защиты. После отключения защитой выключателя А3 проанализировать записанные программой осциллограммы токов.

По завершении экспериментов отключить источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А3, А8, Р1.

### Содержание отчета

1. Схема подключения защиты к асинхронному двигателю.
2. Выбор уставок защиты.
3. Осциллограммы действия защиты.
4. Выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Как выбираются уставки защиты асинхронного двигателя от понижения напряжения?
2. Как обеспечивается селективность действия защиты асинхронного двигателя от понижения напряжения?
3. Как применяется защита?
4. Способы повышения чувствительности защиты

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16

### АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

#### Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия и схемы типового устройства релейной защиты и автоматики линии электропередачи, включающего максимальную токовую защиту с независимой выдержкой времени и устройство автоматического повторного включения, выполненного на релейно-контактной схеме.

#### Общие сведения

Устройства автоматического повторного включения линий электропередач получили широкое распространение в распределительных сетях систем электроснабжения. В первую очередь, это вызвано тем, что по статистическим данным около 60% коротких замыканий на воздушных линиях электропередач являются самоустраняющимися. В этой ситуации повторное включение электропередачи, отключенной действием релейной защиты, в большинстве случаев приводит к восстановлению нормального режима работы. При этом перерыв электроснабжения потребителей определяется только быстродействием релейной защиты и АПВ.

Основным условием для обеспечения эффективности действия АПВ является необходимость в бестоковой паузе после отключения линии устройством релейной защиты, что обеспечивает благоприятные условия для деионизации дугового промежутка в месте повреждения. С этой целью устройства АПВ выполняются с выдержкой времени, которая должна быть больше времени деионизации.

Кроме того, к устройствам АПВ предъявляются и другие требования. В частности, АПВ должно выполняться с фиксированной кратностью действия для предотвращения многократного включения электропередачи на устойчивое короткое замыкание, АПВ должно выполняться с автоматическим возвратом для обеспечения автоматической готовности АПВ к следующим циклам работы в случаях его успешного действия (самоустраняющегося короткого замыкания), АПВ должно учитывать положение ключа управления выключателем для предотвращения срабатывания АПВ при

отключении электропередачи оперативным персоналом и т.д.). Для обеспечения этих и других требований в устройствах АПВ применяются специализированные реле повторного включения типа РПВ-01 и т.п.

### Порядок выполнения работы

Ознакомьтесь с принципом действия, схемами и методами расчета уставок максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени и автоматики повторного включения линий электропередач с односторонним питанием.

Собрать схему испытания защиты, показанную на рис. 16.1.

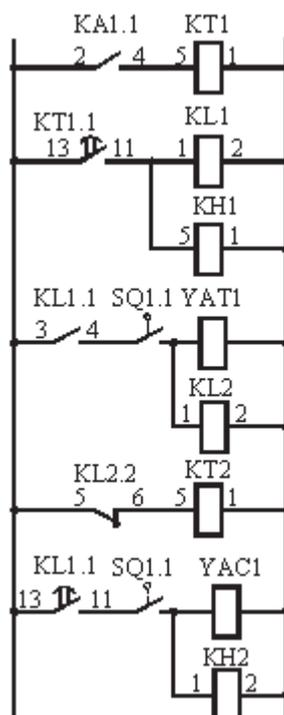
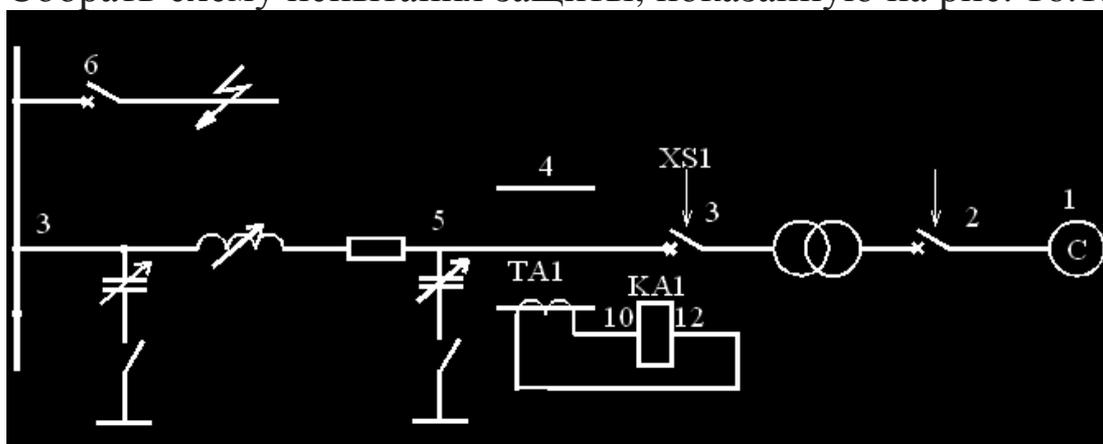


Рис.16.1. Схема испытания устройства автоматического повторного включения

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 в конце линии создается с помощью выключателя 6. Схема релейной защиты и автоматики содержит пусковое реле тока КА1, включенное на ток вторичной обмотки измерительного трансформатора ТА1.

В качестве источника оперативного тока (клеммы «+» и «-») используются клеммы оперативного тока, расположенные на модуле питания стенда. Промежуточные реле КЛ1, КЛ2, указательные реле КН1, КН2 и реле времени КТ2 находятся в модуле «Дополнительные реле». В качестве реле времени КТ1 используется модуль «Реле времени», содержащий физическое реле типа РВ-01. Обмотки электромагнитов включения YAC1 и отключения YAT1, а также блок-контакты выключателя SQ1.1, SQ1.2 находятся на модуле управления выключателями.

Модуль управления выключателями обеспечивает ручное и/или автоматическое управление трехфазными выключателями стенда. Для использования данного модуля необходимо соединить разъем XS1 выключателя с соответствующим разъемом XS1 или XS2 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.

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); отключение поперечной составляющей (переключатель SA2 в положение 1). Рассчитать ток срабатывания реле по формуле:

$$I_{CP} = K_{CX} I_{раб.макс} K_H / (K_{B03} n_T). \quad (16.1)$$

Величину рабочего максимального тока  $I_{раб.макс}$  взять в соответствии с выданным вариантом задания. Коэффициент

надежности  $K_n$  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 пускового реле тока, выбрав ближайшее большее значение из диапазона возможных уставок реле. На лицевой панели реле тока КА1 установить выбранный ток срабатывания реле. На лицевой панели реле времени КТ1 установить выдержку времени МТЗ 3,5 с. На лицевой панели реле времени КТ2 установить выдержку времени АПВ 6 с.

Включить питание стенда автоматом QF1 модуля питания стенда. Включить питание модуля трехфазной сети переключателем SA1 «Сеть». Включить выключатель модуля трехфазной сети. Включить питание модуля реле тока переключателем «Питание» на лицевой панели модуля. Подать команду на включение выключателя линии электропередачи кнопкой «Вкл», расположенной на модуле выключателя 3.

Ввести в действие устройство релейной защиты и автоматики. Для этого переключатель SA2 на модуле выключателя 3 перевести в положение «Авт». Сбросить состояние указательных реле КН1 и КН2 кнопками «Возврат» на модуле дополнительных реле. Создать короткое замыкание, включив выключатель 6. При правильно выбранных уставках реле, защита должна сработать через 3,5 с отключив выключатель 3. При этом срабатывает указательное реле КН1, показывая, что сработала защита.

Сразу же после срабатывания защиты отключить выключатель 3 для имитации самоустраняющегося короткого замыкания. Через 6 с срабатывает АПВ, автоматически включая выключатель 3. При этом срабатывает указательное реле КН2, показывая, что сработало АПВ.

Создать короткое замыкание, включив выключатель 6 для имитации устойчивого короткого замыкания. Наблюдать за действиями релейной защиты и автоматики в течение нескольких циклов работы (включения/отключения выключателя 3). Отключить короткое замыкание, отключив выключатель 6.

После срабатывания АПВ вывести устройство релейной защиты и автоматики из работы. Для этого переключатель SA2 на модуле выключателя 3 перевести в положение «Руч».

Подать команду на отключение выключателя линии электропередачи кнопкой «Откл», расположенной на модуле выключателя 3. Отключить выключатель модуля трехфазной сети.

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.

Оформить отчет по лабораторной работе.

#### Содержание отчета

1. Схема испытаний устройства АПВ.
2. Схема устройства АПВ, применяемого в энергосистемах.
3. Расчет уставок АПВ.
4. Результаты опытов.
5. Выводы по работе.

#### Контрольные вопросы

1. Как требования предъявляются к устройствам АПВ?
2. Для чего АПВ выполняется с выдержкой времени?
3. Как выбираются уставки АПВ?
4. Как обеспечивается требуемая кратность действия АПВ?
5. Когда применяется запрет АПВ?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17

### АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВА

#### Цель выполнения работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия и схему реализации автоматического включения резерва питающего присоединения, выполненную на релейно-контактной элементной базе.

#### Пояснения к работе

Высокую степень надежности электроснабжения потребителей обеспечивают схемы питания одновременно от двух и более источников питания, поскольку аварийное отключение одного из них не приводит к нарушению питания потребителей. Но большое количество подстанций, имеющих два и более источников питания, работают в раздельном режиме. Применение такой схемы электроснабжения во многих случаях оказывается целесообразным для снижения токов КЗ, уменьшения потерь электроэнергии в питающих трансформаторах, упрощения РЗ. При развитии электрической сети раздельный режим часто является единственно возможным решением, так как ранее установленное оборудование и РЗ не позволяют осуществить параллельную работу источников питания.

Используются две основные схемы раздельного режима работы при наличии двух или более источников. В первой схеме один источник включен и питает потребителей, а второй отключен и находится в резерве. Соответственно, первый источник называется *рабочим*, а второй *резервным*. Во второй схеме все источники включены, но работают раздельно на выделенных потребителей. Деление осуществляется на одном из выключателей.

Недостатком раздельного режима является то, что аварийное отключение рабочего источника приводит к прекращению питания потребителей. Этот недостаток может быть устранен быстрым автоматическим включением резервного источника или включением выключателя, на котором осуществлено деление сети. Для выполнения этой операции широко используются специальные автоматические устройства, получившие наименование *автоматов включения резерва* (АВР). При наличии АВР время перерыва питания потребителей в большинстве случаев определяется лишь временем включения

выключателей резервного источника и составляет 0,3-0,8 с.

Устройства АВР должны приходить в действие в случае исчезновения напряжения на шинах потребителей по любой причине, в том числе при аварийном, ошибочном или самопроизвольном отключении выключателей рабочего источника питания, а также при исчезновении напряжения на шинах, от которых осуществляется питание рабочего источника. Для уменьшения длительности перерыва питания потребителей, включение резервного источника питания должно производиться, возможно, быстрее, сразу же после отключения рабочего источника. Действие АВР должно быть однократным, чтобы не допускать нескольких включений резервного источника на не устранившееся КЗ. Схема АВР не должна приходить в действие до отключения выключателя рабочего источника, чтобы избежать включения резервного источника на КЗ в не отключившемся рабочем источнике. Для запуска схемы АВР при исчезновении напряжения на шинах она должна иметь специальный пусковой орган минимального напряжения. Для ускорения отключения резервного источника при его включении на не устранившееся КЗ должно предусматриваться ускорение защиты резервного источника после АВР.

#### Порядок выполнения работы

Ознакомиться с принципом действия и схемами реализации АВР в системах электроснабжения. Собрать схему испытания устройства АВР, показанную на рис. 17.1.

Схема защищаемого объекта представляет собой трехфазный источник питания 1 (модуль трехфазной сети), запитывающий линию электропередачи 2 и силовой трансформатор 4. Основным (рабочим) источником питания подстанции является линия электропередачи 2. Резервным источником питания является силовой трансформатор 4. Выключатель 3 является выключателем рабочего источника питания, выключатель 5 является выключателем резервного источника питания. Схема АВР содержит пусковое реле напряжения KV1, включенное на напряжение вторичной обмотки измерительного трансформатора напряжения TV1, который, в свою очередь, включен на линейное напряжение на шинах потребителей рассматриваемой подстанции.

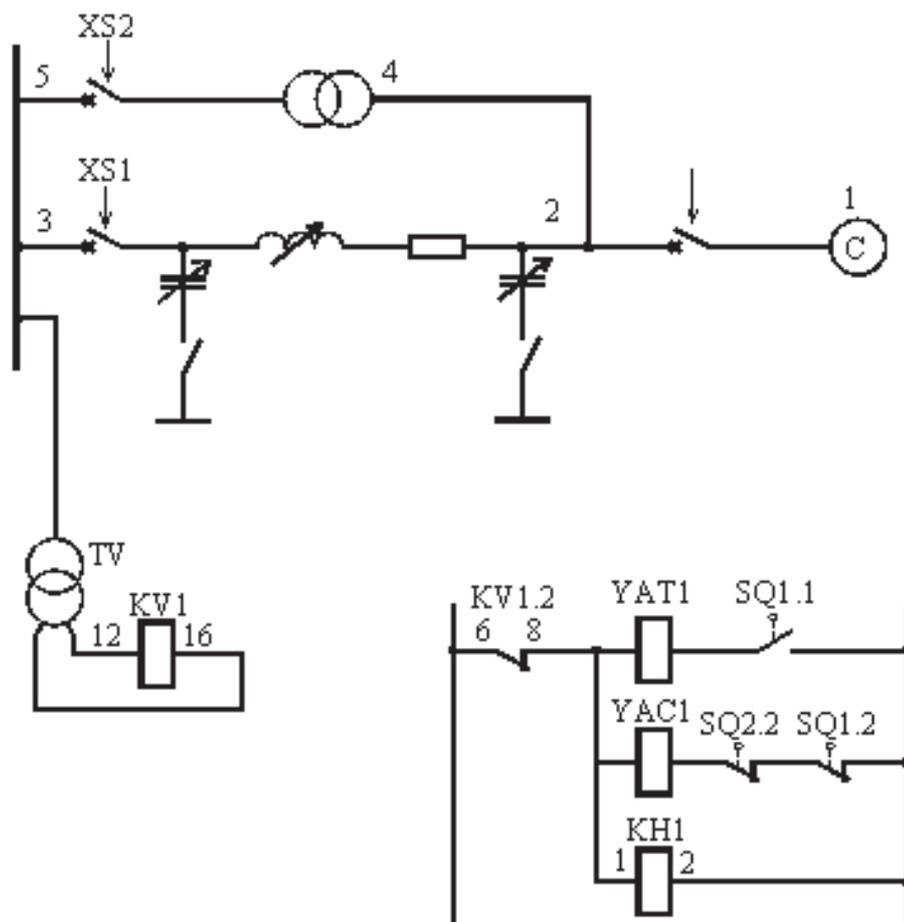


Рисунок 17.1. Схема испытания устройства АВР

В качестве источника оперативного тока (клеммы «+» и «-») используются клеммы оперативного тока, расположенные на модуле питания стенда. Указательное реле КН1 находится в модуле «Дополнительные реле». Обмотки электромагнитов включения YAC2 и отключения YAT1, а также вспомогательные контакты выключателей SQ1.1, SQ1.2 и SQ2.2 находятся на модуле управления выключателями.

Модуль управления выключателями обеспечивает ручное и/или автоматическое управление трехфазными выключателями стенда. Для использования данного модуля необходимо соединить разъем XS1 выключателя с соответствующим разъемом XS1 или XS2 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 в ручную кнопками с модуля управления выключателями или автоматически, подавая ток в электромагниты включения/отключения, расположенные на этом же модуле.

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

Включить питание стенда автоматом QF1 модуля питания стенда. Включить питание модуля трехфазной сети переключателем SA1 «Сеть». Включить выключатель модуля трехфазной сети. Подать команду на включение выключателя рабочего источника питания кнопкой «Вкл», расположенной на модуле выключателя 3.

По показаниям датчика измерительного трансформатора напряжения TV1 определить величину напряжения  $U_{\text{раб.мин}}$  на шинах потребителя в нормальном режиме. Рассчитать напряжение срабатывания реле напряжения по формуле:

$$U_{\text{CP}} = U_{\text{раб.мин}} \cdot K_{\text{OTC}} / (K_{\text{ВОЗ}} n_n). \quad (17.1)$$

Коэффициент отстройки  $K_{\text{OTC}}$  принять равным 0,8. Коэффициент возврата реле напряжения  $K_{\text{ВОЗ}}$  принять равным 1,05. Коэффициент трансформации трансформатора напряжения  $n_n$  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). Включить питание реле напряжения.

Ввести в действие устройство автоматического включения резерва. Для этого переключатели SA2 на модулях выключателей 3 и 5 перевести в положение «Авт». Сбросить состояние указательного реле КН1 кнопкой «Возврат» на модуле дополнительных реле.

Подать команду на отключение выключателя рабочего источника 3 кнопкой «Откл» расположенной на модуле управления выключателем УВ-1. Тем самым имитируется ошибочное или самопроизвольное отключение выключателя рабочего источника питания. АВР срабатывает по исчезновению напряжения на шинах потребителя и подает команду на включение выключателя резервного источника 5.

Ввести из работы устройство автоматического включения резерва. Для этого переключатели SA2 на модулях выключателей 3 и 5 перевести в положение «Руч». Отключить выключатель резервного источника 5

кнопкой «Откл» расположенной на модуле выключателя 5.

Подать команду на включение выключателя рабочего источника питания кнопкой «Вкл», расположенной на модуле выключателя 3. Ввести в действие устройство автоматического включения резерва. Для этого переключатели SA2 на модулях выключателей 3 и 5 перевести в положение «Авт». Сбросить состояние указательного реле КН1 кнопкой «Возврат» на модуле дополнительных реле.

Отключить выключатель модуля трехфазной сети 1. Тем самым имитируется исчезновение напряжения в цепях рабочего источника питания. АВР срабатывает по исчезновению напряжения на шинах потребителя и подает команду на включение выключателя резервного источника 5.

Ввести из работы устройство автоматического включения резерва. Для этого переключатели SA2 на модулях выключателей 3 и 5 перевести в положение «Руч». Отключить выключатель резервного источника 5 кнопкой «Откл» расположенной на модуле выключателя 5. Отключить питание модуля трехфазной сети переключателем SA1 «Сеть». Отключить питание модуля реле напряжения. Отключить питание стенда автоматом QF1 модуля питания стенда. Оформить отчет по лабораторной работе.

### Содержание отчета

1. Принципиальная схема АВР.
2. Результаты расчетов параметров работы АВР.
3. Действие схемы АВР.
4. Выводы по работе в целом.

### Контрольные вопросы

1. Достоинства и недостатки схем электроснабжения с двусторонним питанием и схем с применением устройств АВР.
2. Назначение устройств АВР.
3. Основные требования к устройствам АВР.
4. Область применения устройств АВР.
5. Почему АВР имеет однократное действие?
6. Особенности действия АВР на подстанциях с двигательной нагрузкой.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18

### УСТРОЙСТВО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ (УРОВ)

#### Цель работы

В процессе выполнения работы изучить принцип действия, схему устройства резервирования отказов выключателей.

#### Пояснения к работе

Статистика показывает, что при автоматической ликвидации повреждений отмечаются отдельные случаи отказа в действии релейной защиты или выключателей. Подобные отказы могут вызывать тяжелые аварии, сопровождающиеся массовым повреждением оборудования и нарушением электроснабжения потребителей. Наряду с принятием мер по повышению надежности и безотказности действия релейной защиты и выключателей особое значение приобретает резервирование отключения повреждений в случае отказа выключателя или действующей на него защиты.

Известны и применяются два способа резервирования:

- 1) резервирование, осуществляемое защитами смежных участков (дальнее резервирование);
- 2) резервирование, осуществляемое защитами и выключателями той подстанции, где произошел отказ (ближнее резервирование).

Первый способ резервирования предусматривает, что в зону действия защиты смежного участка должен входить не только свой, но и следующий за ним участок. Тогда при отказе защиты или выключателя следующего участка защита смежного участка приходит в действие и отключает КЗ своим выключателем.

Второй способ резервирования получил значительное распространение на подстанциях, где дальнее резервирование оказывается нечувствительным или неселективным.

В этом случае для резервирования защиты на каждом присоединении устанавливаются две защиты (основная и резервная), взаимно резервирующие друг друга. Для резервирования выключателя предусматривается специальное устройство

резервирования отказа выключателя (УРОВ). Это устройство запускается от защит отказавшего выключателя и действует на отключение всех присоединений данной подстанции, непосредственно питающих неотключившееся КЗ.

При отказе выключателя его защита по истечении времени, достаточного для прекращения КЗ при нормальной работе выключателя и защиты поврежденного присоединения, действует на отключение всех выключателей, через которые продолжается питание повреждения.

Устройство резервирования отказа выключателя обладает высокой чувствительностью, так как его пусковым органом является основная защита присоединения, обычно имеющая достаточную чувствительность в пределах защищаемого элемента. Помимо того, УРОВ имеет определенные преимущества по сравнению с первым способом резервирования (дальним) в части селективности.

В данной лабораторной работе моделируются сборные шины с подключенными к ним через выключатели Q1 и Q2 нагрузками. Шины получают питание через выключатель Q3 (рис.18.1).

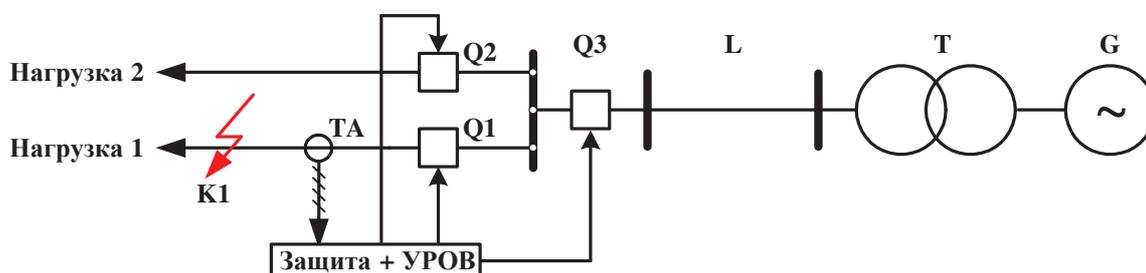


Рисунок 18.1. Схема установки УРОВ

От трансформаторов тока, включенных в цепь одной из нагрузок, питается максимальная токовая защита этого присоединения, смоделированная на компьютере с помощью специальной программы. В случае возникновения короткого замыкания в точке К1 защита через выдержку времени подает сигнал на отключение выключателя Q1, а если последний отказал, то по истечении еще одной выдержки времени защита отключает выключатели Q2 и Q3 (срабатывает УРОВ). Электрическая схема соединений приведена на рис.18.1 и 18.2.

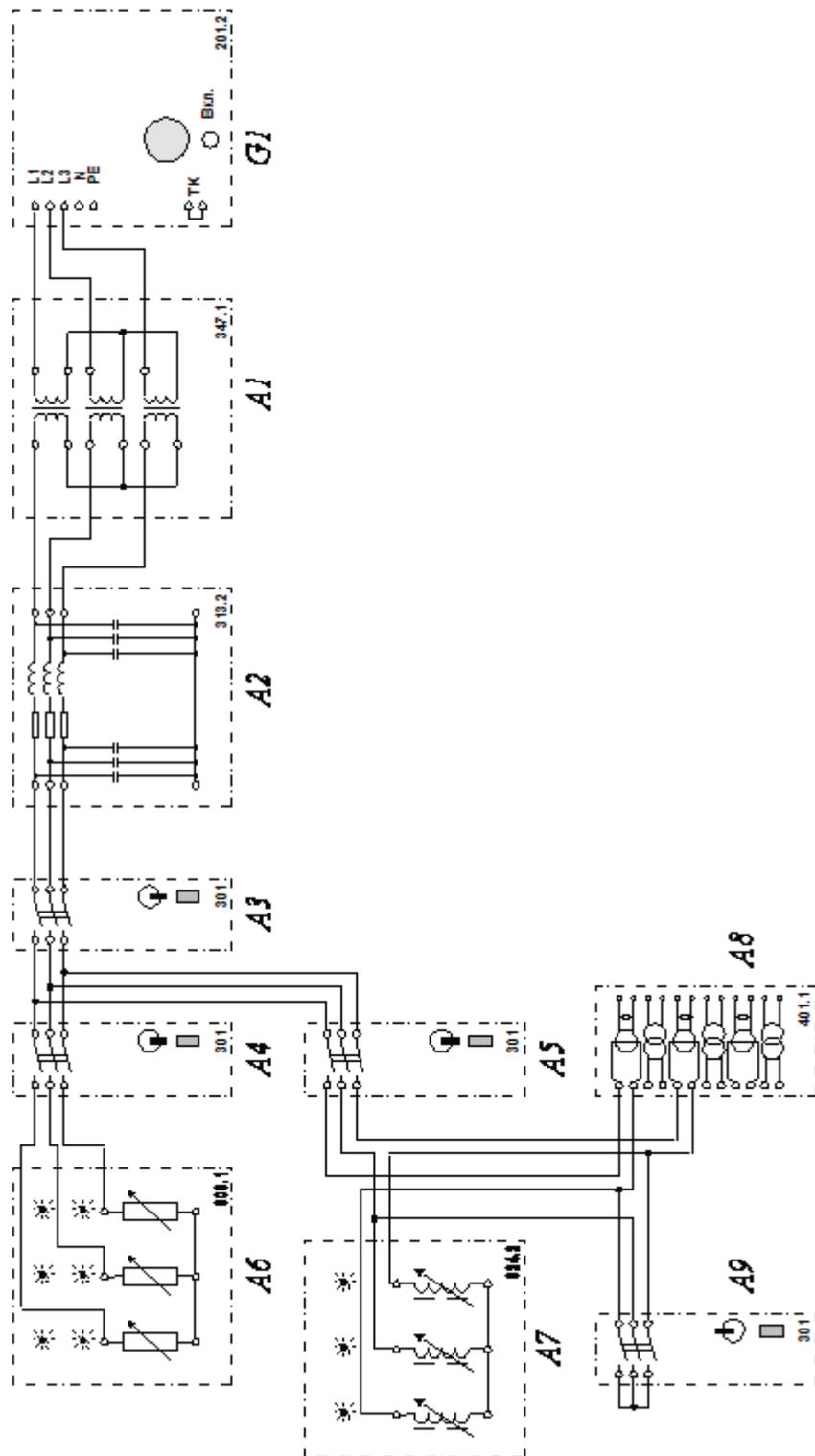


Рисунок 18.2. Электрическая схема соединений

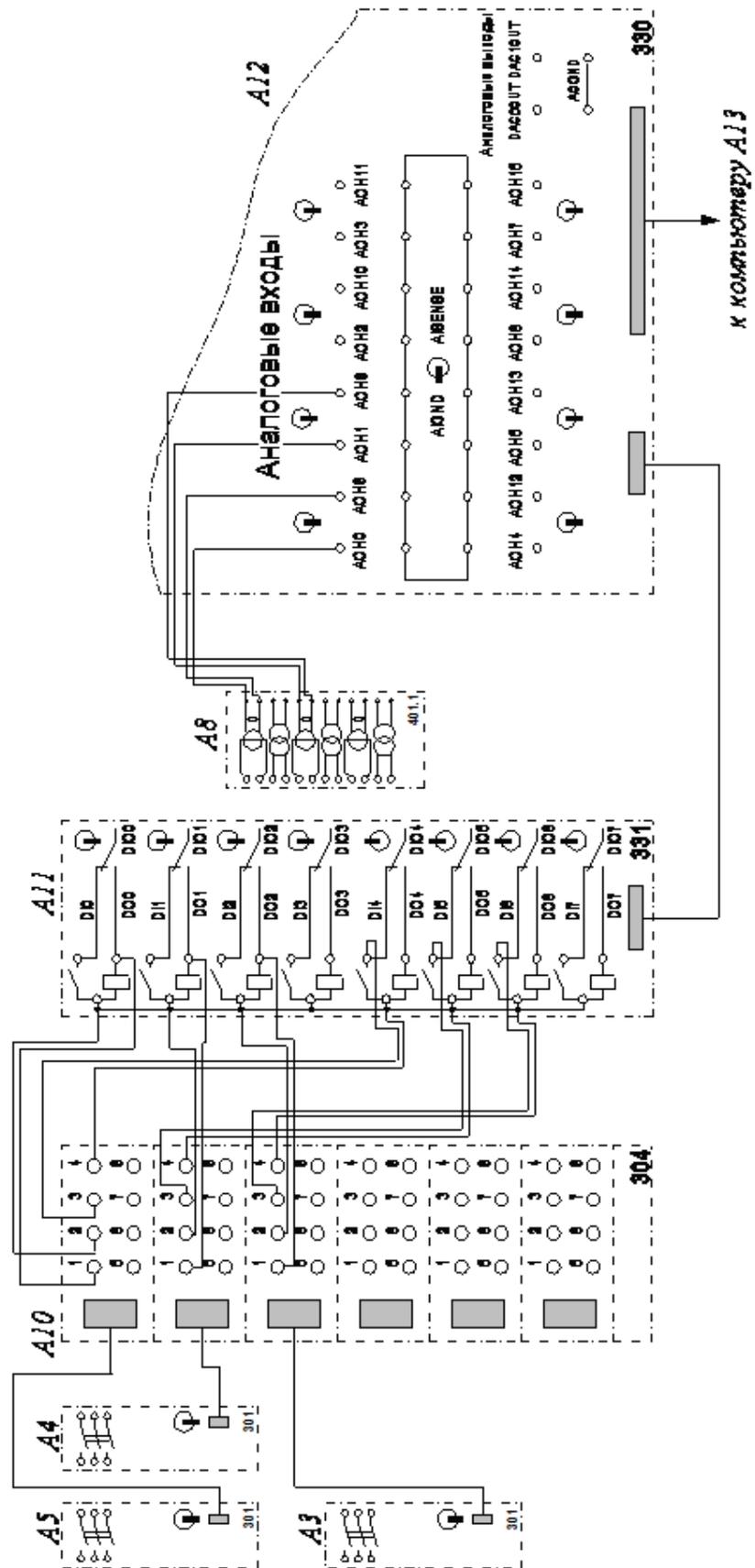


Рисунок 18.3. Электрическая схема соединений (продолжение)

Активная А6 и индуктивная А7 нагрузки получают питание от трехфазного источника G1 через трехфазную трансформаторную группу А1, модель линии электропередачи А2 и трехполюсные выключатели А3-А5, из которых выключатель А3 играет роль вводного выключателя на систему условных шин, а выключатели А4 и А5 – роль коммутационных аппаратов отходящих присоединений (соответственно активной А6 и индуктивной А7 нагрузок).

Выключатель А9 используется как короткозамыкатель индуктивной нагрузки А7. Трансформаторы тока блока А8 измерительных трансформаторов тока и напряжения фиксируют ток в двух фазах этой нагрузки. Вторичные обмотки трансформаторов тока блока А8 подключены к аналоговым входам коннектора А12, соединенного гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера А13.

Розетки «УПР.» трехполюсных выключателей А3-А5 гибким кабелем подключены к розеткам терминала А10, гнезда которого соединены с гнездами блока А11 ввода-вывода цифровых сигналов согласно электрической схеме соединений.

### Порядок выполнения работы

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания. Соединить гнезда «ТК» источника G1. Соединить гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1. Соединить аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей А3-А5 установить в положение «АВТ.»., выключателя А9 – в положение «РУЧН.». Параметры линий электропередачи А2 переключателями установить, например, следующими:  $R = 200 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$ ,  $C_1 = C_2 = 0 \text{ мкФ}$ . Величины активных нагрузок блока А6 выставить равными, например, 80% от 50 Вт во всех фазах, индуктивных нагрузок блока А7 – 75 % от 40 Вар во всех фазах. Номинальное вторичное фазное напряжение трехфазной трансформаторной группы А1 установить равным 230 В.

Включить источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки. Включить

выключатели «СЕТЬ» выключателей А3, А4, А5, А9, блока А11 ввода-вывода цифровых сигналов.

Привести в рабочее состояние персональный компьютер А13, войти в соответствующий каталог и запустить прикладную программу «УРОВ.exe». Задайте уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку, например, использовать уставки, заданные по умолчанию. Начать запись, ввести защиту.

Смоделировать короткое замыкание, включив выключатель А9. После срабатывания защиты отключить выключатель А9, проанализируйте состояние схемы и записанные осциллограммы тока. Вновь начать запись, ввести защиту. Переключатель режима работы выключателя А5 установить в положение «РУЧН.», симитировав тем самым отказ выключателя. Нажатием на кнопку «ВКЛ.» выключателя А9, смоделировать короткое замыкание.

Во время работы защиты обратить внимание на момент выдачи сигнала на «отказавший» выключатель А5 – в этот момент раздастся негромкий щелчок реле, подающего напряжение на магнитный пускатель выключателя. После этого через время срабатывания УРОВ, заданное в окне уставок защиты, произойдет непосредственно срабатывание УРОВ, т.е. отключение выключателей А3 и А4.

После срабатывания защиты отключить выключатель А9, проанализировать состояние схемы и записанные осциллограммы тока. По завершении экспериментов отключить источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А3, А4, А5, А9, А11.

### Содержание отчета

1. Схема подключения УРОВ.
2. Выбор уставок действия УРОВ.
3. Осциллограммы действия УРОВ.
4. Выводы по работе

### Контрольные вопросы

1. Назначение резервирования.
2. Виды резервирования.
3. Как осуществляется резервирование?
4. Способы осуществления селективности УРОВ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М.: Высшая школа, 2006. – 640 с.
2. Копьев В.Н. Релейная защита. Проектирование: Учебное пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2012. - 100с.
3. Копьев В.Н. Релейная защита. Принципы выполнения и применения : учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 153 с.
4. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ.ред. профессоров МЭИ В.Г.Герасимова и др. (гл.ред. А.И.Попов). – 9-е изд., стер. – М.: Издательство МЭИ, 2004.