Подписан: Шебзухова Татьяна Александровна
Дата: 2021-08-27 14:04:08
Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского федерального университета
Дата подписания: 12.09.2023 17:31:48
Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем»
для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Содержание

Общие сведения по выполнению лабораторных работ	5
Основные правила техники безопасности в лаборатории электротехники	5
Краткие сведения из теории	8
Лабораторная работа №1 ***Моделирование максимальной токовой защиты линии электропередачи***	22
Лабораторная работа №2 ***Моделирование мгновенной токовой отсечки линии электропередачи***	26
Лабораторная работа №3 ***Моделирование максимальной токовой защиты радиальной электрической сети с односторонним питанием***	30
Лабораторная работа №4 ***Моделирование дифференциальной защиты линии электропередачи***	34
Лабораторная работа №5 ***Моделирование дифференциальной защиты трансформатора***	38
Лабораторная работа №6 ***Моделирование максимальной токовой защиты электрической цепи с помощью автоматического выключателя***	42
Лабораторная работа №7 ***Моделирование тепловой защиты электрической цепи с помощью электротеплового реле***	44
Лабораторная работа №8 ***Автоматическое включение резервного питания нагрузки***	48
Лабораторная работа №9 ***Автоматическое включение резервного питания нагрузки***	52
Лабораторная работа №10 ***Схемы соединения измерительных трансформаторов тока***	57
Лабораторная работа №11 ***Схемы соединения измерительных трансформаторов напряжения***	63
Лабораторная работа №12 ***Максимальная токовая защита/отсечка двух линий электропередачи с односторонним питанием***	69
Лабораторная работа №13 ***Токовая направленная защита линий электропередачи в кольцевой сети***	76
Лабораторная работа №14 ***Продольная дифференциальная защита линии электропередачи***	84
Лабораторная работа №15 ***Поперечная дифференциальная защита параллельных линий электропередачи***	92
Лабораторная работа №16 ***Дистанционная защита линий электропередачи в сети с двусторонним питанием***	101
Лабораторная работа №17	110

Дифференциальная защита трансформатора
Лабораторная работа №18 118
Максимальная токовая защита трансформатора
Лабораторная работа №19 123
Устройство резервирования отказов выключателей (УРОВ)
Лабораторная работа №20
Автоматическое отключение короткого замыкания на линии электропередачи с односторонним питанием 131
Лабораторная работа №21
Автоматическое повторное включение линии электропередачи с односторонним питанием 138
Лабораторная работа №22
Автоматическое повторное включение линии электропередачи с двусторонним питанием 145
Лабораторная работа №23
Автоматическое резервное включение секционного выключателя понизительной подстанции 151
Лабораторная работа №24
Автоматическое ограничение снижения напряжения включением устройства продольной емкостной компенсации линии электропередачи 158
Лабораторная работа №25
Автоматическое ограничение повышения напряжения включением шунтирующего реактора на конце линии электропередачи 164
Контрольные вопросы 170
Рекомендуемая литература 171

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Данные методические указания включают в себя описание и порядок выполнения лабораторных работ по дисциплине «Релейная защита». Целью лабораторных работ является:

1) закрепление полученных теоретических знаний по изучаемому курсу;

2) ознакомление на практике с основными видами релейной защиты, ее селективностью, защитой линий электропередач и трансформаторов, вводом резерва и повторного включения линий систем электроснабжения.

3) овладение навыками построения схем релейной защиты и настройкой схем автоматики.

При первом посещении лаборатории релейной защиты студент должен ознакомиться с инструкцией по технике безопасности, расписаться в соответствующем журнале и в дальнейшем неукоснительно соблюдать правила по технике безопасности.

При выполнении каждой лабораторной работы студент должен вести записи (протоколы испытаний), после выполнения работы утвердить их у преподавателя, затем дома оформить в виде отчета. Отчеты должны быть составлены технически грамотно, аккуратно, с соблюдением соответствующих ГОСТ, нормативных и руководящих документов на обозначение электрических и физических величин и элементов схем; каждый отчет необходимо заканчивать самостоятельными выводами, подходя творчески к полученным экспериментальным данным и, используя свои теоретические знания, дать предложения по возможным вариантам изменения и усовершенствования конкретных схем.

В процессе подготовки к лабораторным работам, а также при их выполнении и оформлении отчетов необходимо пользоваться указанными литературными источниками.

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ В ЛАБОРАТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторной работы по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

1. К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.

7. После того как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов, рукояток других регулирующих устройств, а также уставок реле тока, напряжения и времени.

8. Собранная схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

Категорически запрещается:

– трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;

– прикасаться к вращающимся частям электрических машин; а также к подвижным и неизолированным частям электрических аппаратов.

– производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;

– заменять или брать оборудование или приборы с других рабочих мест без разрешения преподавателя или лаборанта;

– отходить от стендов с собранными электрическими схемами, находящимися под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;

– перегружать приборы и аппараты током или напряжением, превышающим номинальное значение, если это не предусмотрено условием выполнения конкретной лабораторной работы.

Следует постоянно помнить, что:

1. Проверку наличия подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольным вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

2. При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, значением 0,01 А уже является опасным для жизни.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Общие вопросы выполнения релейной защиты

Электроэнергетические сети и системы характеризуются непрерывностью производства и потребления электрической энергии, быстротечностью распространения электромагнитных возмущающих воздействий и, как показывает практика, неизбежностью возникновения повреждений.

В таких условиях надлежащие качество и надежность электроснабжения могут быть обеспечены только при широком применении комплекса автоматических устройств, среди которых первостепенное значение имеют устройства релейной защиты (Р.З.) и устройства релейной защиты и противоаварийной автоматики (Р.З.А.).

Устройства РЗА предназначены для быстрой автоматической локализации поврежденного электрооборудования или линии систем электроснабжения, автоматического восстановления напряжения на поврежденных участках и предотвращения ненормальных режимов работы.

Назначение Р.З.

Основным назначением Р.З. является выявления места возникновения короткого замыкания и быстрое автоматическое отключение выключателей поврежденного оборудования или участка сети от остальной неповрежденной части электрической установки или сети.

Кроме повреждения электрического оборудования могут возникать нарушения нормальных режимов его работы (перегрузка, замыкание на землю одной фазы в сети с изолированной нейтралью, выделение газа в результате разложения масла в трансформаторе или понижения уровня масла в расширителе и т.п.), не требующие немедленного его отключения. Таким образом, вторым назначением Р.З. является выявление нарушений нормальных режимов работы электрооборудования, которые могут привести к аварии, а также подача предупредительных сигналов обслуживающему персоналу или соответствующих команд автоматики, или отключение оборудования с выдержкой времени.

Повреждения и ненормальные режимы работы в системах электроснабжения.

Повреждения – в большинстве случаев сопровождаются значительным повышение тока и снижением напряжения в элементах энергосистем.

Ненормальные режимы – режимы работы электрооборудования, приводящие к отклонению величин частоты и напряжения от допустимых значений.

Наиболее тяжелыми нарушениями нормальной работы энергосистем, приводящие к повреждениям являются замыкания и короткие замыкания.

Замыкание (З.) – всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение

различных точек электроустановок между собой или землей. (В обмотках электрических машин и трансформаторов бывают замыкания между витками одной фазы).

Короткое замыкание (К.З.) – наиболее опасный и тяжелый вид повреждения – не предусмотренное нормальными условиями работы замыкание между фазами, а в системах с заземленными нейтралями (или в четырехпроводных) также замыкание одной или несколько фаз на землю (или на нулевой провод).

К ненормальным режимам работы относятся:

- перегрузка оборудования (вызываемая увеличение тока сверх номинального значения);
- повышение напряжения;
- понижение напряжения;
- режим работы двумя фазами (вызываемый обрывом фазы или перегоранием предохранителя);
- грозовые перенапряжения;
- коммутационные перенапряжения.

Основные требования, предъявляемые к Р.З.

- селективность (избирательность) – способность Р.З. выявлять место повреждения и отключать только поврежденный участок;
- быстродействие;
- чувствительность;
- надежность.

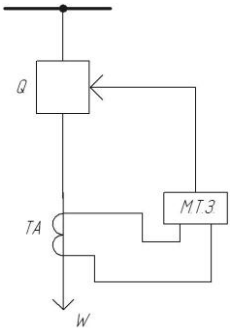
Основные органы и элементы Р.З.

- пусковые органы – непосредственно и непрерывно контролируют состояние и режим работы защищаемого оборудования и реагируют только на К.З. и нарушение нормального режима работы. Выполняются с помощью реле тока, напряжения, мощности и т.д.;
- измерительные органы – определяют место и характер повреждения, на них возложена также задача принятия решения о необходимости действия защиты.
- логическая часть – схема, которая запускается пусковыми органами, и, сопоставляя последовательность и продолжительность действия измерительных органов, производит отключение выключателей мгновенно или с выдержкой времени, а также запуск устройств, положенных в общую схему Р.З.
- исполнительная часть – выполняет действия на отключение (включение) выключателей и других устройств.

<u>Основные виды Р.З.</u>

Максимальная токовая защита (М.Т.З.)

Основным и наиболее характерным признаком К.З. является появление сверхтока, который становиться во много раз больше тока нагрузки. На использовании этого принципа и основано действие М.Т.З.



К реле М.Т.З. через ТА подводиться ток, проходящий по защищаемому элементу (линии *W*). Когда ток достигает заранее установленного значения, защита приходит в действие (срабатывает) и отключает выключатель *Q*. Значение тока, при котором происходит срабатывание защиты, называется током срабатывания. Появление сверхтока в каком либо элементе, не всегда является признаком повреждения этого элемента, ибо сверхток проходит и по неповрежденным элементам цепи.

Так в электросети, состоящей из трех последовательно соединенных участков, при К.З. в точке К. сверхток проходит от источника *G* к месту повреждения как по поврежденному участку *I*, так и по неповрежденным: *II* и *III*

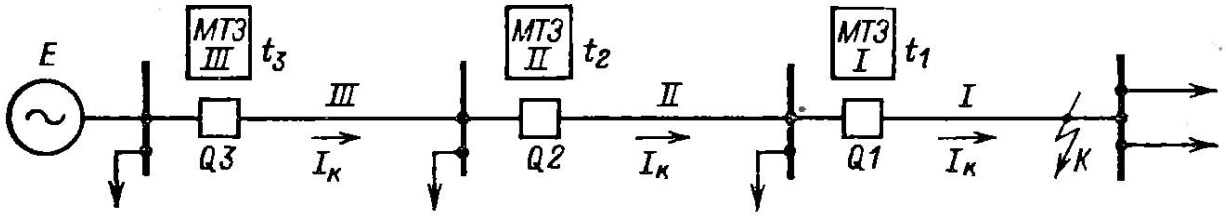


Рис.2

Если сверхток превысит ток срабатывания, то недопустимо, чтобы сработали все три защиты. Правильная ликвидация аварии будет иметь место в том случае, если сработает М.Т.З. 1 и отключит выключать Q_1, ближайший к месту повреждения – это и есть требование к избирательности или селективности М.Т.З.. Для выполнения этого требования необходимо, чтобы М.Т.З. участков имели различное время срабатывания, возрастающее по направлению к источнику питания.

Время срабатывания защиты от момента возникновения сверхтока до воздействия на выключатель называется выдержкой времени. В данном случае наименьшую выдержку времени t_1 должна иметь защита М.Т.З. *I*; несколько большую t_2 – защита М.Т.З.*II* и самую большую t_3 – М.Т.З. *III*.

Токовая отсечка (Т.О.)

Токовой отсечкой называется М.Т.З. с ограниченной зоной действия, имеющая в большинстве случаев мгновенное действие.

В отличие от М.Т.З. селективность действия Т.О. обеспечивается не выдержкой времени, а ограничением зоны ее действия. Для этого ток срабатывания отсечки отстраивается не от тока нагрузки, а от тока К.З. в конце защищаемой линии или других определенных точках, где Т.О. не должна действовать.

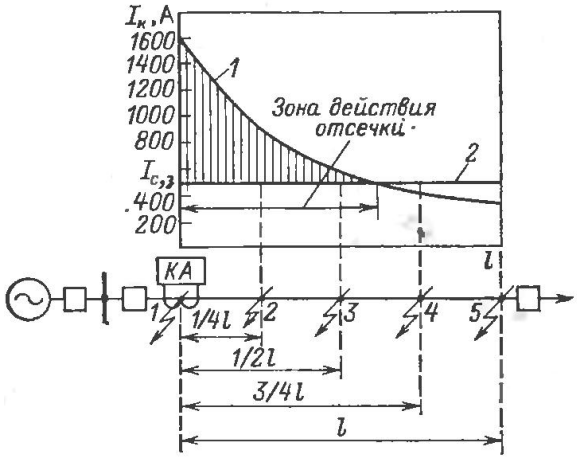


Рис 3.

I срабатывания Т.О. выбирается так, чтобы она не работала при повреждениях на смежной линии или в трансформаторе питаемой подстанции. Для этого $I_{сраб.}$ должен быть больше максимального значения тока при К.З. на шинах противоположной подстанции, т.е. в точке «5» и определяется по формуле

$$I_{с.з.} = k_н \cdot I_{к.\max} \text{ или } I_{с.р.} = \frac{k_н \cdot k_{сх} \cdot I_{k.\max}}{k_I},$$

где: $I_{k.\max}$ – максимальное значение $I_{к.з.}$ на шинах противоположной подстанции;

$k_{сх}$ – коэффициент схемы;

$k_н$ – коэффициент надежности.

Зона действия отсечки определяется графически, как показано на рисунке. Для этого вычисляются токи К.З., проходящие по защищаемой линии в начале и конце ее, а также на расстоянии $\frac{1}{4}; \frac{1}{2}; \frac{3}{4}$ длины от начала и строится кривая изменения $I_{к.з.}$ в зависимости от удаления от места К.З. (кривая «1»).

По приведенной формуле строится прямая тока срабатывания (прямая «2»). Точка пересечения прямой «2» с кривой «1» определяет зону действия отсечки.

Отсечка действует в зоне, где $I_{к.з.} > I_{сраб.}$

Защита плавкими предохранителями(П.П.).

С помощью П.П. защита электроустановок осуществляется наиболее просто и дешево. При их использовании не требуется устанавливать трансформаторы тока и напряжения, реле и автоматические выключатели.

В сетях до 1000В П.П. являются основным видом защиты, а также применяются в сетях с более высоким напряжением, если удовлетворяют требуемым параметрам и условиями эксплуатации.

Принцип работы П.П. основан на тепловом действии тока, проходящего, через проводник: в нормальных условиях все тепло, выделяемое проводником, рассеивается в окружающей среде; при увеличении тока возникает избыток тепла, проводник нагревается и при определенном значении тока это нагревание достигает температуры плавления металла, из которого изготовлен этот проводник. Таким образом, если в определенном месте сети установить вставку из проводника меньшего сечения, или другого материала, имеющего большое сопротивление, то при увеличении тока этот участок будет нагреваться сильнее и при достижении опасных значений тока – расплавится («перегорит»).

При выборе П.П. необходимо учитывать номинальное напряжение, на которое он рассчитан; номинальный ток и предельно отключаемый ток.

Автоматические воздушные выключатели (А.В.В.)

Наряду с П.П. в сетях с напряжением до 1000В для защиты от К.З. и перегрузки широко применяются А.В.В., которые представляют собой аппараты, состоящие из выключателя с мощной контактной системой для отключения тока К.З. и реле защиты, действующих на его отключение.

Перед П.П. А.В.В. имеют существенные преимущества:

- большая оперативность и постоянная готовность к быстрому включению после устранения последствий К.З.;
- одновременное отключение всех трех фаз, что очень важно для электродвигателей.

Дифференциальная токовая защита (Д.З.)

Д.З. – называют защиты с абсолютной селективностью непосредственно сравнивающие электрические величины в заданных местах защищаемых элементов:

- по концам линии – продольная защита;
- в параллельных цепях одной электроустановки – поперечная защита.

Д.З. может быть использована для трансформаторов, статорных обмоток генераторов, сборных шин электроустановки и т.д.

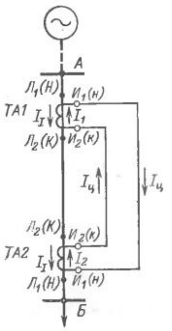


Рис 5

Продольная Д.З.

Для осуществления продольной Д.З. с обоих концов защищаемой линии устанавливаются трансформаторы тока с одинаковым коэффициентом трансформации k_I. В нормальном режиме и при внешнем К.З. ток I_I имеет разное направление относительно шин подстанций А и Б. Вторичные обмотки TA_1 и TA_2 соединены между собой в т.н. дифференциальную схему. В такой схеме при прохождении по защищаемой линии сквозного тока (нагрузки или К.З.) по соединительным проводам постоянно циркулирует ток, равный по значению вторичному току ТА:

$$I_1 = I_2 = I_ц = \frac{I_I}{k_I}.$$

Параллельно вторичным обмоткам *ТА* включается обмотка токового реле КА, которая вместе с TA_1 и TA_2 образует Д.З..

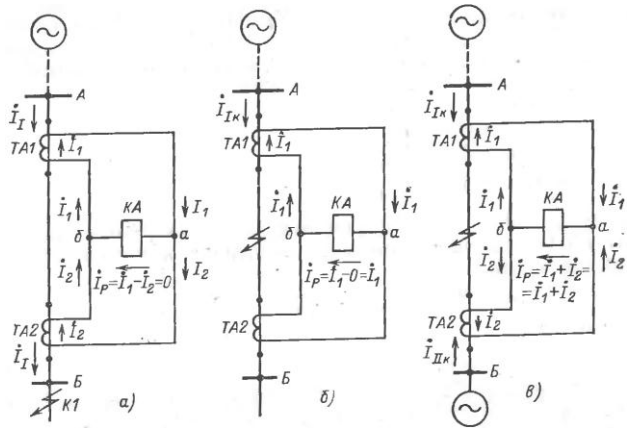


Рис.6

На рисунке а) показаны первичный и вторичный токи при внешнем К.З. в точке K_1, когда по защищаемой линии проходит ток I_I. В этом случае в соединительных проводах циркулирует ток, равный вторичному току *ТА* и для точки «*а*» согласно первому закону Кирхгофа $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_p$, откуда $\dot{I}_p = \dot{I}_1 - \dot{I}_2$.

При соблюдении условия равенства коэффициентов трансформации $I_1 = I_2$, откуда $I_p = 0$.

Таким образом при прохождении по защищаемой линии тока нагрузки или внешнего К.З., ток в реле дифференциальной защиты равен нулю.

Распределение токов при К.З. внутри защищаемого участка в линии с одностороннем и двухсторонним питанием показано на рисунке б) и в).

Поперечная Д.З.

Токовая поперечная Д.З. применяется для параллельных линий, присоединенных к шинам подстанции через один общий выключатель и имеющих равные сопротивления.

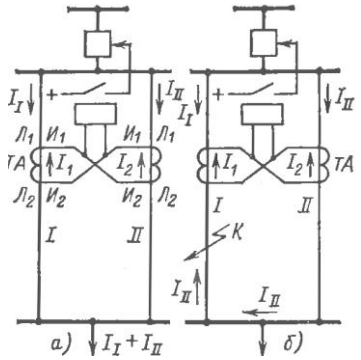


Рис 7.

На схеме вторичные обмотки *ТА*, установленных на каждой линии соединены между собой на разность токов. Параллельно вторичным обмоткам *ТА* включено токовое реле мгновенного действия. Ток в реле равен разности токов вторичных обмоток *ТА* 1-й и 2-й линий: $\dot{I}_p = \dot{I}_1 - \dot{I}_2$. В нормальных условиях, когда по линиям проходят равные по значению токи нагрузки, а также при К.З. на шинах приемной подстанции или за пределами $\dot{I}_I = \dot{I}_{II}$ и, т.к. коэффициенты трансформации *ТА* выбираются одинаковыми, $\dot{I}_1 = \dot{I}_2$ и, следовательно, $I_p = 0$.

При возникновении повреждения на одной из линий *(*точка К линии *I)* токораспределение изменится – I_I не будет равным I_{II} и через реле будет протекать ток $\dot{I}_p = \dot{I}_1 - \dot{I}_2$.

Если при этом $|\dot{I}_p| > I_{сраб}$, то защита сработает на отключение.

Если повреждение произошло на одной из линий вблизи шин противоположной подстанции, то значение токов $\dot{I}_I$ *и* $\dot{I}_{II}$ будут близки, их разность может быть меньше тока срабатывания реле и защита не подействует. Участок линии вблизи шин противоположной подстанции, при повреждении на которым защита не работает, называется «мертвой зоной», которая тем меньше, чем меньше ток срабатывания $I_{сраб.}$ и больше $I_{к.з.}$.

Дистанционная защита(Дс.З.)

Дс.З. называется защита, выдержки времени которой автоматически изменяется в зависимости от удаленности места К.З. от места установки защиты. Определение удаленности до места К.З. производиться дистанционной защитой путем измерения сопротивления, которое определяется сравнением значения остаточного напряжения на шинах, где установлена защита и $I_{к.з.}$, проходящего по защищаемой линии.

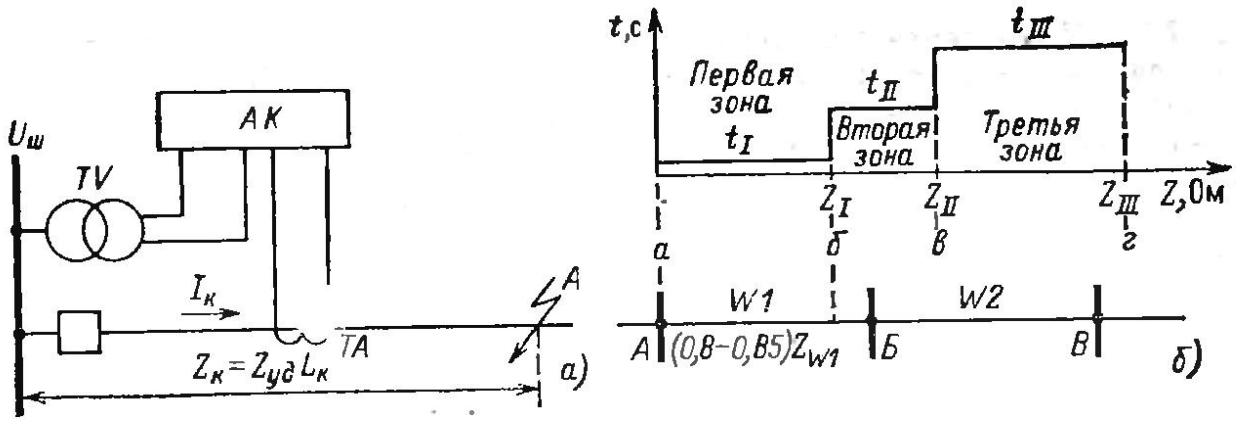


Рис. 8.

Если при К.З. в точке *А* по защищаемой линии проходит к месту К.З. ток $I_к$, то напряжение на шинах подстанции будет равно падению напряжения в сопротивлении участка линии Z_k от шин подстанции до точки *А*.

$U_ш = I_к \cdot Z_к$

Отношение $\frac{U_ш}{I_к} = \frac{I_к \cdot Z_к}{I_к} = Z_к$ равно сопротивлению участка линии до места К.З.

Сопротивление линии можно выразить через удельное сопротивление на 1км $Z_{уд}$ и расстояние до места К.З. на линии $L_к$; $Z_к = Z_{уд} \cdot L_к$.

Следовательно отношение остаточного напряжения на шинах к току К.З.

$$\frac{U_ш}{I_к} = Z_{уд} \cdot L_к$$

пропорционально расстоянию $L_к$ от места установки защиты до места К.З.

<u>Защита трансформаторов</u>

В обмотках трансформаторов могут возникать К.З. между фазами; одной или двух фаз на землю; между витками одной фазы; и замыкания между обмотками высокого и низкого напряжения.

В процессе эксплуатации могут происходить нарушения нормальных режимов работы трансформаторов:

- прохождения через них сверхтоков;
- перегрузка;
- выделение из масла горючих газов;
- понижение уровня масла;
- повышение температуры.

Для защиты трансформаторов при их повреждении и сигнализации о нарушении нормальных режимов работы применяются следующие виды защит:

Дифференциальная защита.

Д.З. применяется в качестве основной быстродействующей защиты трансформаторов.

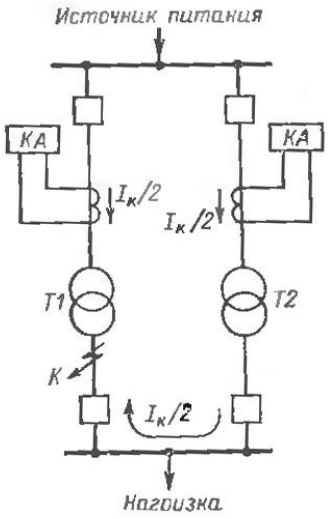


Рис 9.

При параллельной работе трансформаторов Д.З. обеспечит не только быстрое, но и селективное отключение поврежденного трансформатора в отличие от М.Т.З., которая при повреждении в точке К отключит оба трансформатора T_1 и T_2.

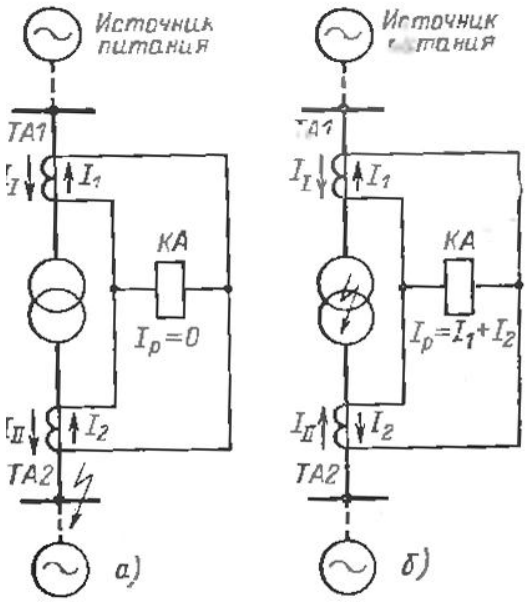


рис 10.

Для выполнения .Д.З. трансформатора *ТА* устанавливается со стороны всех его обмоток. Вторичные обмотки *ТА* соединяются в дифференциальную схему и параллельно к ним подключаются токовые реле. Полагая в рассматриваемом случае, что $K_{тр}=1$ и соединение обмоток «звезда-звезда» или «треугольник-треугольник» имеем $\dot{I}_р=\dot{I}_1-\dot{I}_2$. При К.З. вне зоны Д.З. $\dot{I}_I=\dot{I}_{II}$, откуда $\dot{I}_р=\dot{I}_1-\dot{I}_2=0$.

При К.З. в трансформаторе или другой точке вне зоны действия Д.З. токи $\dot{I}_I$ *и* $\dot{I}_{II}$ изменятся на противоположные и ток в реле станет равным

$$I_p = I_1 + I_2 = \frac{I_I}{K_I} + \frac{I_{II}}{K_I} = \frac{I_{к.з.}}{K_{тр}}.$$

Токовая отсечка.

Действие Т.О. трансформатора основано на том же принципе, что и Т.О. линий.

Ток срабатывания Т.О. выбирается таким, чтобы она не сработала за трансформатором по формуле:

$$I_{ср} = k_н \cdot k_{сх} \frac{I_{н.\max}}{k_I},$$

где: $I_{н.max}$ – максимальный ток К.З., проходящий через трансформатор при К.З. за ним;

$k_н$ – коэффициент надежности отстройки, зависящий от типа применяемого реле действия;

$k_{сх}$ – коэффициент схемы.

Газовая защита (Г.З.).

Г.З. – устанавливается на трансформаторах и реакторах с масляным охлаждением, имеющих расширители.

Действие Г.З. основано на том, что всякие, даже незначительные повреждения, а также повышенные температуры внутри бака трансформатора вызывают разложение масла и выделение газов, что фиксируется с помощью механических устройств, приводящих затем в действие системы сигнализации или отключения напряжения.

<u>Защита электродвигателей.</u>

Зашита от многофазных К.З.

Для защиты от многофазных К.З. электродвигателей мощностью до 5000 кВт обычно используется максимальная токовая отсечка. Наиболее просто Т.О. можно выполнить с реле прямого действия, встроенными в привод выключателя. Использование токовых реле с зависимой характеристикой позволяет обеспечить с помощью одних и тех же реле защиты от К.З. и перегрузки.

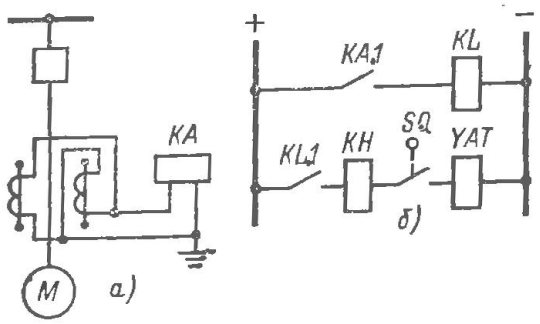


Рис.11

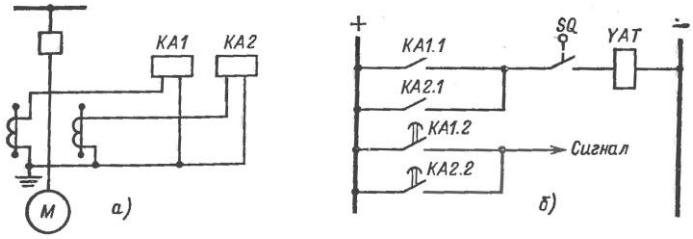


Рис. 12

Защита от перегрузки.

Защита от перегрузки устанавливается только на электродвигателях, подверженных технологическим перегрузкам, как правило с действием на сигнал или разгрузку механизма.

Защита от перегрузки должна отключать электродвигатель, на котором она установлена, только в том случае, если без остановки электродвигателя нельзя устранить причину, вызвавшую перегрузку. Использование защиты от перегрузки с действием на отключение целесообразно также в установках без обслуживающего персонала.

Защита минимального напряжения.

После К.З. происходит самозапуск электродвигателей, подключенных к секции или системе шин, на которых во время К.З. имело место снижение напряжения. Токи самозапуска в несколько раз превышают номинальные, проходят по питающим линиям (или трансформаторам) собственных нужд. В результате напряжение на шинах собственных нужд, а следовательно и на электродвигателях понижается настолько, что вращающийся момент на валу электродвигателя может оказаться недостаточным для его разворота. Самозапуск электродвигателей может не произойти если напряжение на шинах окажется ниже 55…65 % $U_{ном}$.

Для того, чтобы обеспечить самозапуск наиболее ответственных электродвигателей, устанавливается защита минимального напряжения, отключающая неответственные электродвигатели, отсутствие которых в течении некоторого времени не отразится на производственном процессе. При этом уменьшается суммарный ток самозапуска и повышается напряжение на шинах собственных нужд, благодаря чему обеспечивается самозапуск ответственных двигателей.

Защита синхронного двигателя от асинхронного хода.

В случае выхода синхронного электродвигателя из синхронизма, что может произойти в следствие снижения напряжения питающей сети, при уменьшении тока возбуждения или при возрастании нагрузки на валу, в электродвигателе проходят большие токи, а вал электродвигателя и связанный с ним механизм подвергаются воздействию больших моментов переменного знака. Т.к. это может привести к повреждению электродвигателя, он оборудуется защитой, отключающей его при выходе из

синхронизма. Такая защита может быть выполнена с помощью токового реле, действующего на отключение выключателя и АГП с выдержкой времени. Ток срабатывания для защиты от асинхронного хода принимается равным 1,4…1,5 $U_{ном}$.

Общие сведения по автоматике

Устройства автоматического управления.

Под автоматическим управлением понимается выполнение устройством автоматики действий по заданной программе при возникновении внешних возмущающих воздействий.

Внешними возмущающими воздействиями являются изменения схемы или параметров режима работы объекта управления, а также команды персонала на пуск устройства автоматики и д.р.

Устройства автоматического управления перестают действовать после выполнения программы или после исчезновения возмущающего воздействия.

Устройства автоматического регулирования.

Под автоматическим регулированием понимается непрерывный процесс поддержания какой–либо регулируемой величины на неизменном уровне или процесс изменения этой величины по заранее заданному закону при любых возмущающих воздействиях. Устройства, выполняющие указанную функцию, называются автоматическими регуляторами.

Регулируемой величиной называется физический параметр, который следует поддерживать неизменным или менять по определенному закону. Такими параметрами в энергосистемах являются напряжение, частота, активная и реактивная мощности.

Системы автоматического регулирования содержат те же элементы, что и системы автоматического управления.

Автоматическое повторное включение

Значительная часть К.З. на воздушных линиях электропередач при достаточно быстром отключении повреждений релейной защитой самоустраняется. Для ускорения повторного включения линий и уменьшения времени перерыва электроснабжения потребителей широко используются специальные устройства ***автоматического повторного включения (АПВ).*** Время действия АПВ составляет от 0,5 до нескольких секунд.

Схемы АПВ в зависимости от конкретных условий могут существенно отличаться одна от другой, однако все они должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- схемы АПВ должны приходить в действие при аварийном отключении выключателей, находившихся в работе;
- схемы АПВ не должны приходить в действие при оперативном отключении выключателей персоналом, а также в тех случаях, когда выключатель отключается релейной защитой сразу после его включения персоналом;
- схемы АПВ должны обеспечивать определенное количество повторных включений, т.е. действовать с заданной кратностью;
- время действия должно быть минимально возможным;

– схемы АПВ должны обеспечивать автоматический возврат в исходное положение готовности к новому действию после включения в работу выключателя, на который действует данное АПВ.

Автоматическое включение резерва.

Недостатком одностороннего питания является то, что аварийное отключение рабочего источника приводит к прекращению питания потребителей. Этот недостаток можно устранить быстрым автоматическим включением резервного источника питания или включением выключателя, на котором осуществлено деление сети. Для выполнения этой операции широко используется специальные устройства ***автоматического включения резерва(А.В.Р.)***.

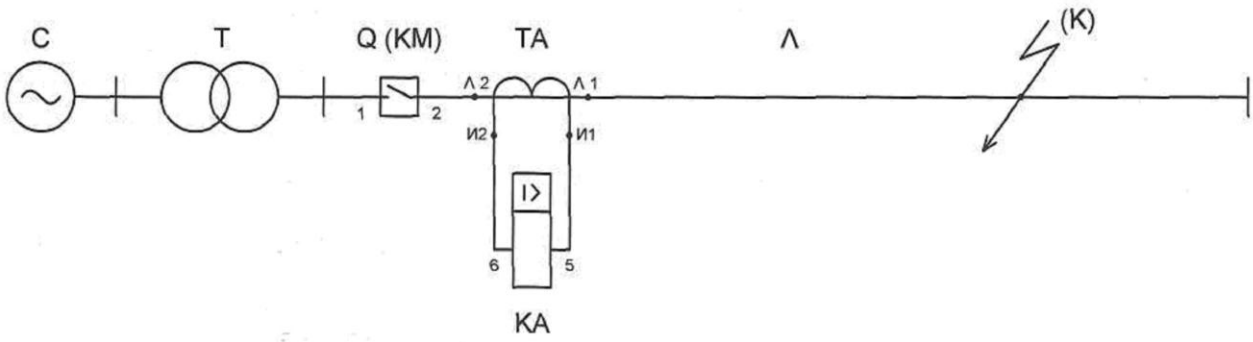
Все устройства АВР должны удовлетворять следующим требованиям:

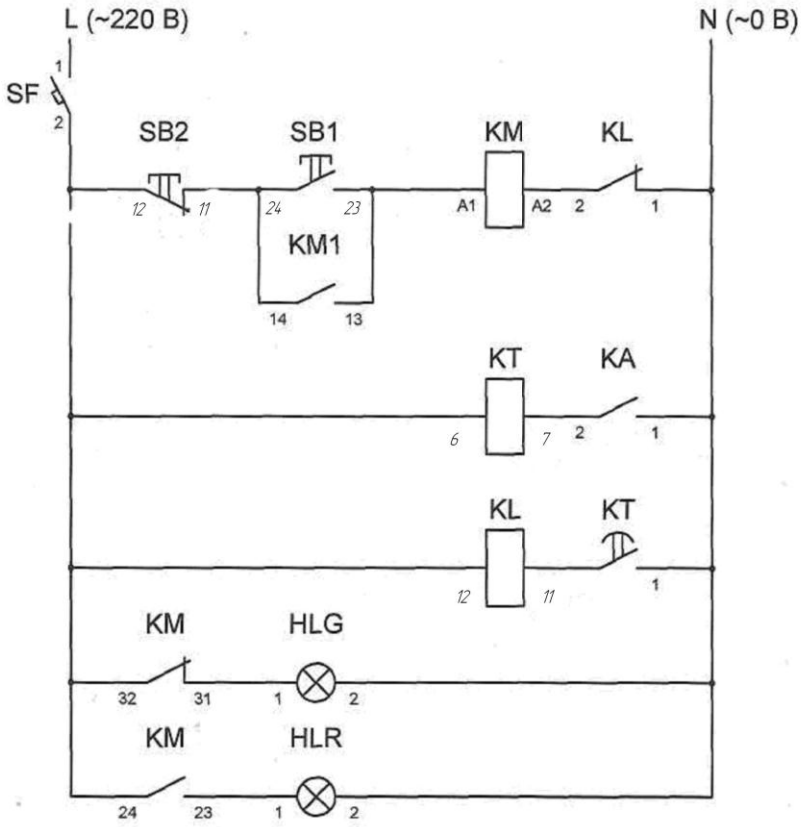
– схема АВР должна приходить в действие при исчезновении напряжения на шинах потребителя по любой причине, в том числе при аварийном, ошибочном и самопроизвольном отключении выключателей рабочего источника питания, а также при исчезновении напряжения на шинах, от которых осуществляется питание рабочего источника;
– для того чтобы уменьшить длительность перерыва питания потребителей, включение резервного источника питания должно производиться сразу же после отключения рабочего источника.
– действие АВР должно быть однократным.
– схема АВР не должна приходить в действие до отключения выключателя рабочего источника.
– для того, чтобы АВР действовала при исчезновении напряжения на шинах, питающих рабочий источник, когда его выключатель остается включенным, схема АВР должна дополнятся специальным пусковым органом минимального напряжения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

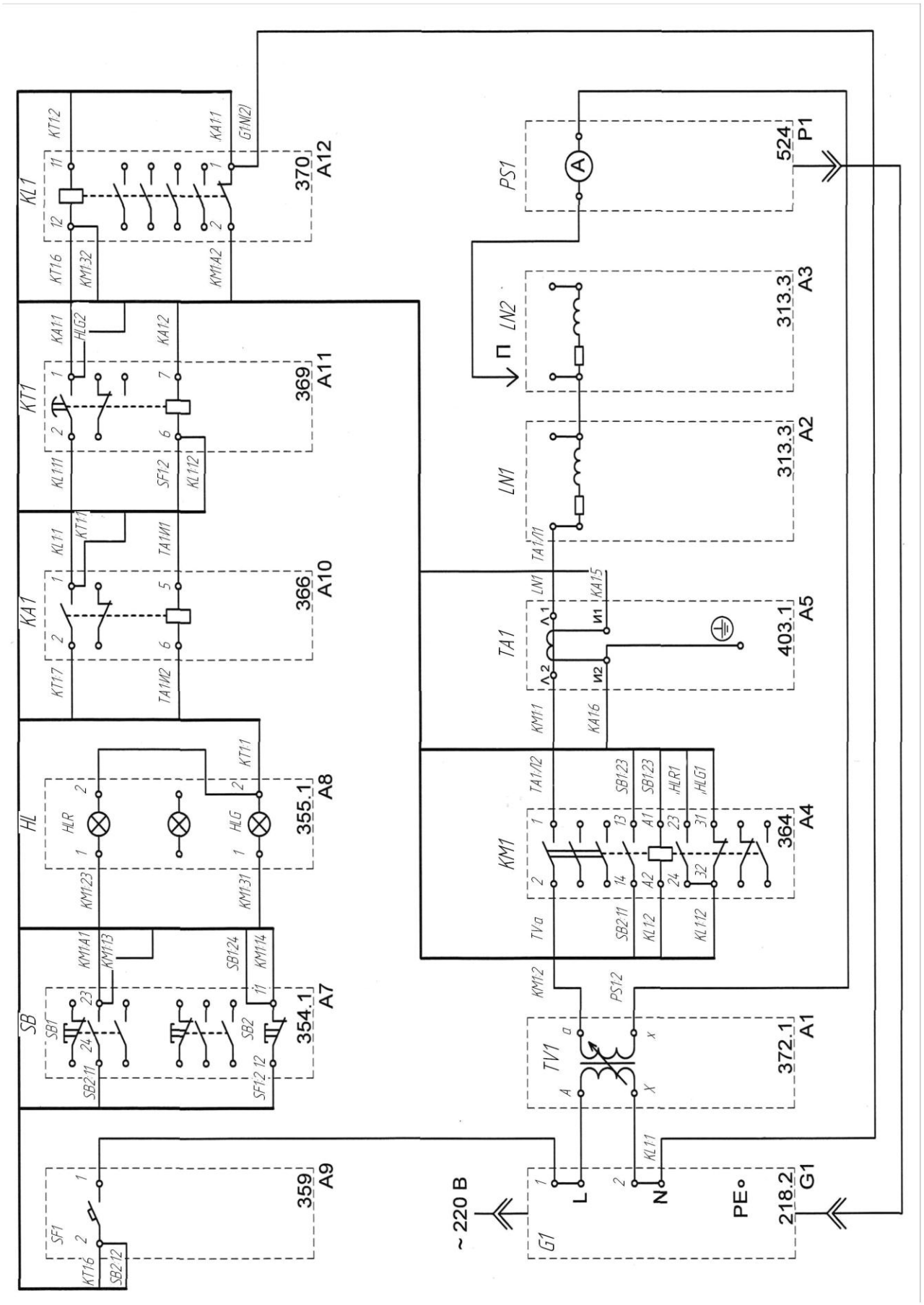
Моделирование максимальной токовой защиты линии электропередачи

Схема электрическая принципиальная





Электрическая схема соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Код	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.2	-220 В /10 А
A1	Однофазный трансформатор	372.1	80 ВА 220/198...242 В
A2,A3	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А
A4	Контактор	364	-380В /10А
A5	Трансформатор тока	403.1	1,0/1,0 А/ Upa6 = ~ 660 В/ Sh = 5 ВА
A7	Кнопочный пост управления	354.1	-500 В /10 А/ 3 кнопки
A8	Блок световой сигнализации	355.1	- 220 В /3 лампы
A9	Автоматический однополюсный выключатель	359	-230 В /0,5 А
A10	Реле максимального тока	366	Номинальный ток - 6,3 А / Уставка реле -1,0...2,0 А/ Коммутируемое напряжение 250 В / Контакты1з+1р.
A11	Реле времени	369	Напряжение питания -100...380 В/ Уставка реле 0,5...9,0 с/ Коммутируемое напряжение 380 В / Контакты 1з+1р
A12	Промежуточное реле	370	Номинальное напряжение -220 В / Ток контактов реле 5 А/ Коммутируемое напряжение 250 В / Контакты 1з+4р
PI	Измеритель тока и времени	524	0...5А/ 0,01. ..999 с

Указания по проведению эксперимента

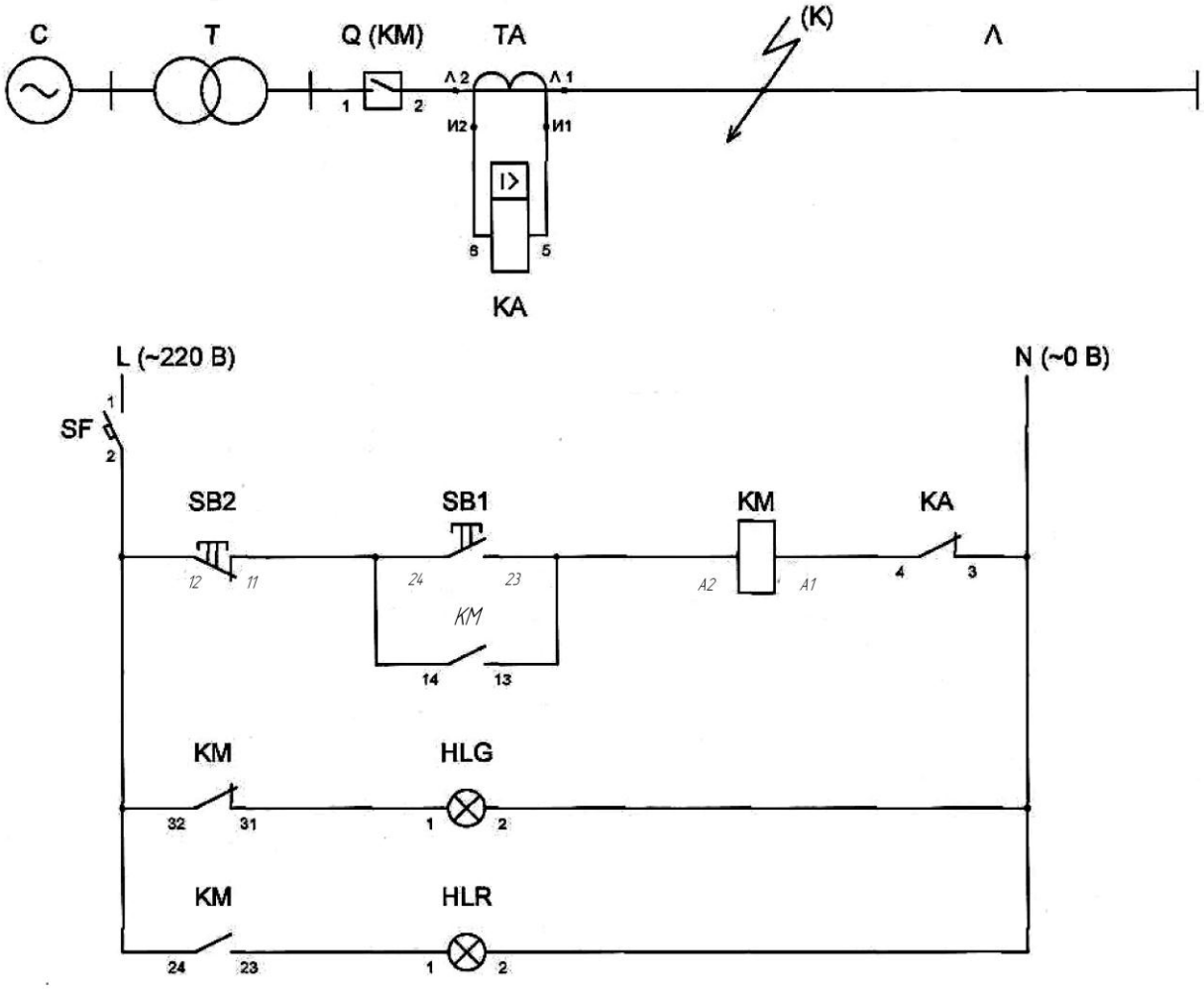
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "⏚"однофазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Отключите (если включен) выключатель A9.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, 1,0.

- Установите желаемые параметры линии электропередачи Л, например, 100 Ом и 0,2 Гн, а также место расположения на ней точки короткого замыкания, например, в середине линии. Для этого переключателями установите параметры моделей линий электропередачи А2 и А3 равными 50 Ом и 0,1 Гн.
- Установите желаемый ток срабатывания реле А10, например, 1,0 А.
- Установите желаемое время срабатывания реле АН, например, 1,0 с.
- Включите выключатель «СЕТЬ» измерителя Р1.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатель А9. В результате загорится зеленая лампа блока А8, сигнализирующая о подаче оперативного напряжения.
- Нажмите верхнюю кнопку поста управления А7. В результате включится контактор А4 (выключатель Q) и на модели линий А2, А3 (линию Л) будет подано напряжение. Об этом будет сигнализировать загоревшаяся красная лампа в блоке А8. Зеленая лампа в блоке А8 погаснет.
- Смоделируйте короткое замыкание на линии электропередачи Л. Для чего воткните проводник «П» в гнездо между моделями линий А2 и А3. В результате сработает максимальная токовая защита и поврежденная линия электропередачи Л (модели линий А2, А3) с выдержкой времени отключится (отключатся) от источника питания выключателем Q (контактором А4). Красная лампа в блоке А8 погаснет, а зеленая загорится.
- С индикаторов измерителя Р1 считайте значение тока короткого замыкания и время работы защиты.
- Выньте проводник «П» из гнезда.
- По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G1 выключатель «СЕТЬ» измерителя Р1.

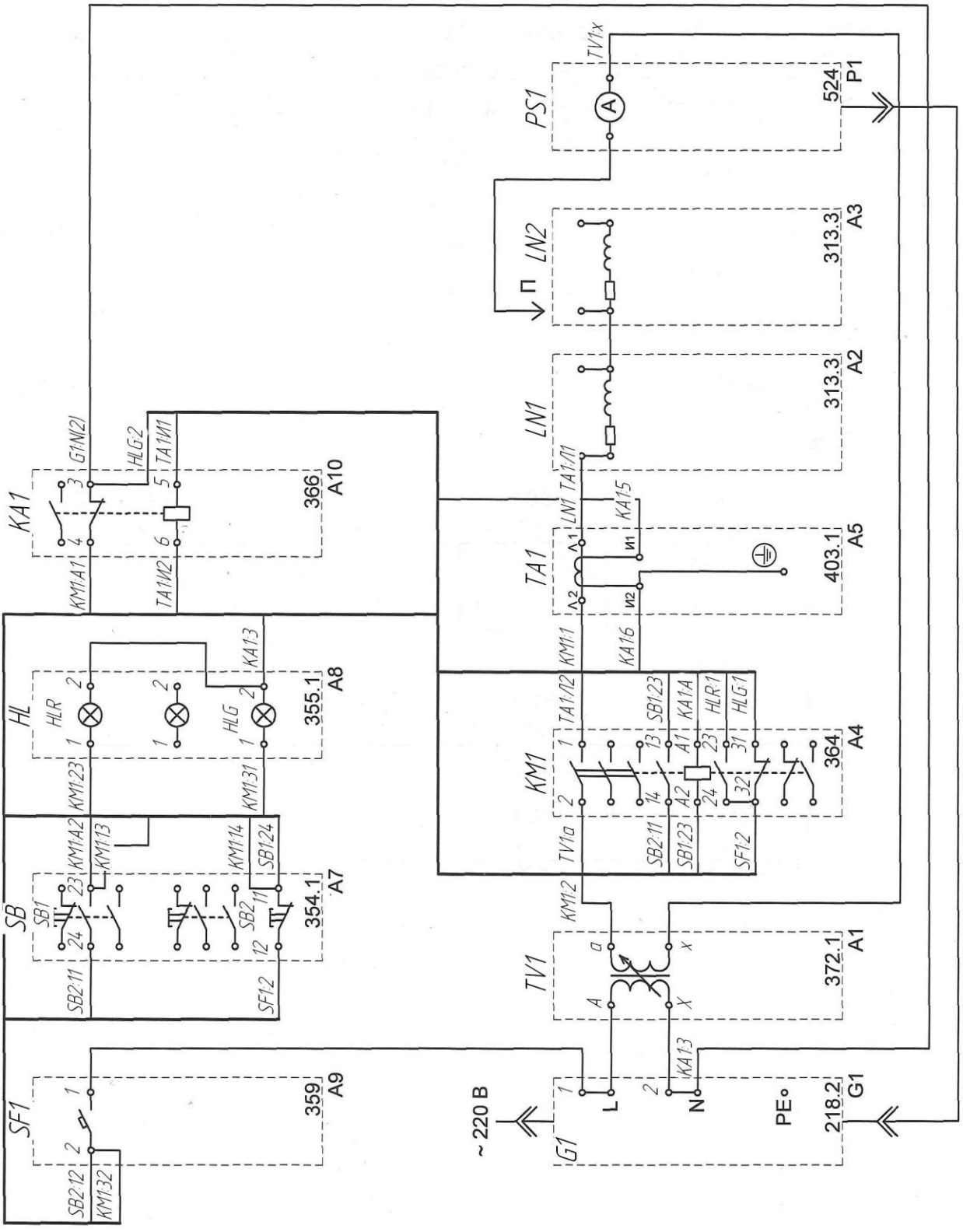
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Моделирование мгновенной токовой отсечки линии электропередачи

Схема электрическая принципиальная



Электрическая схема соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Код	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.2	-220 В /10 А
A1	Однофазный трансформатор	372.1	80 ВА 220/198...242 В
A2,A3	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А
A4	Контактор	364	-380 В /10 А
A5	Трансформатор тока	403.1	1,0/1,0 А/ Uраб = ~ 660 В/ Sh = 5 ВА
A7	Кнопочный пост управления	354.1	-500 В /10 А/ 3 кнопки
A8	Блок световой сигнализации	355.1	- 220 В /3 лампы
A9	Автоматический однополюсный выключатель	359	-230 В /0,5 А
A10	Реле максимального тока	366	Номинальный ток -6,3 А/ Установка реле -1,0...2,0 А/ Коммутируемое напряжение 250 В / Контакты 1з+1р.
P1	Измеритель тока и времени	524	0...5А/ 0,01...999 с

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1.

Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.

Отключите (если включен) выключатель A9.

Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, 1,0.

Установите желаемые параметры линии электропередачи Л, например, 100 Ом и 0,2 Гн, а также место расположения на ней точки короткого замыкания, например, е середине линии. Для этого переключателями установите параметры моделей линий электропередачи A2 и A3 равными 50 Ом и 0,1 Гн.

Установите желаемый ток срабатывания реле A10, например, 1,0 А.

Включите выключатель «СЕТЬ» измерителя P1.

Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.

Включите выключатель А9. В результате загорится зеленая лампа блока А8. сигнализирующая о подаче оперативного напряжения.

Нажмите верхнюю кнопку поста управления А7. В результате включится контактор А4 (выключатель Q) и на модели линий А2, А3 (линию Л) будет подано напряжение. Об этом будет сигнализировать загоревшаяся красная лампа в блоке А8. Зеленая лампа блоке А8 погаснет.

Смоделируйте короткое замыкание на линии электропередачи Л. Для чего воткните проводник «П» в гнездо между моделями линий А2 и А3. В результате сработает мгновенная токовая отсечка и поврежденная линия Л (модели линий А2, А3)отключится от источника питания выключателем Q (контактором А4). Красная лампа в блоке А8 погаснет, а зеленая загорится.

С индикаторов измерителя Р1 считайте значение тока короткого замыкания и время работы защиты.

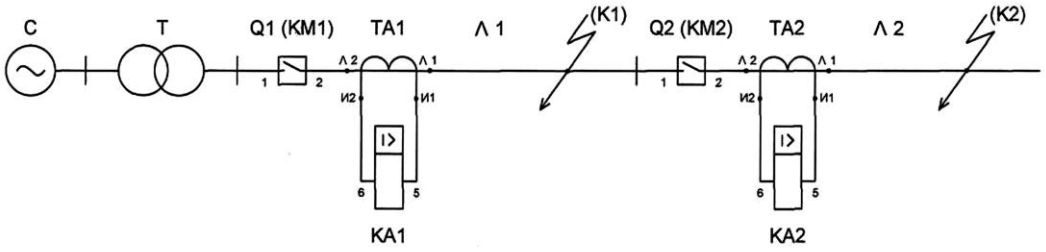
Выньте проводник «П» из гнезда.

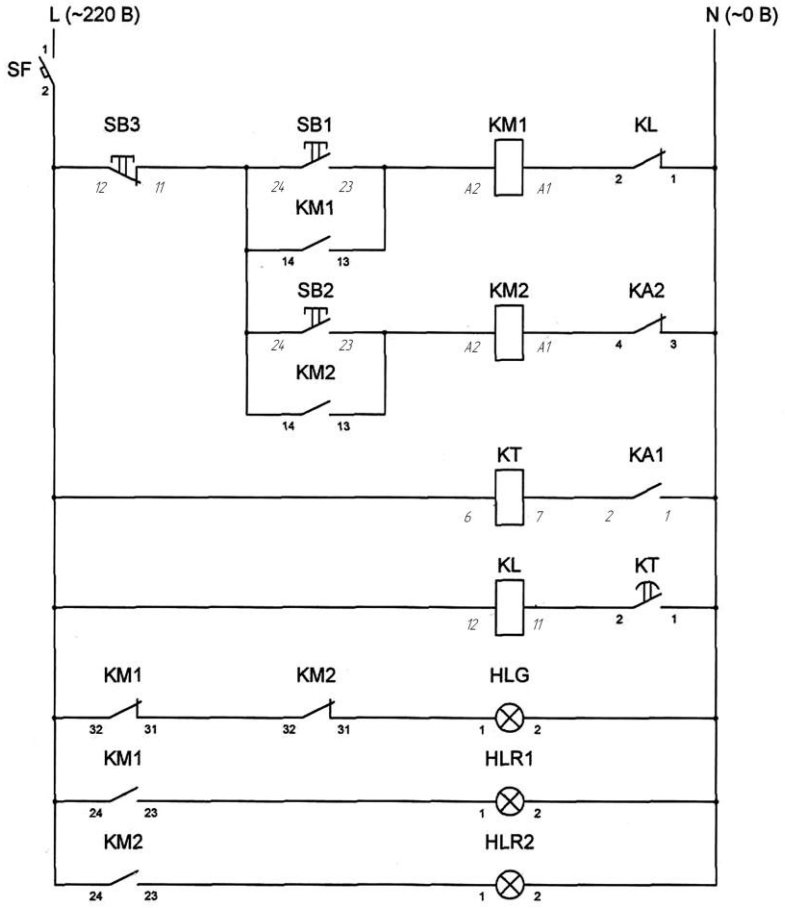
По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G1 и выключатель «СЕТЬ» измерителя PL

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

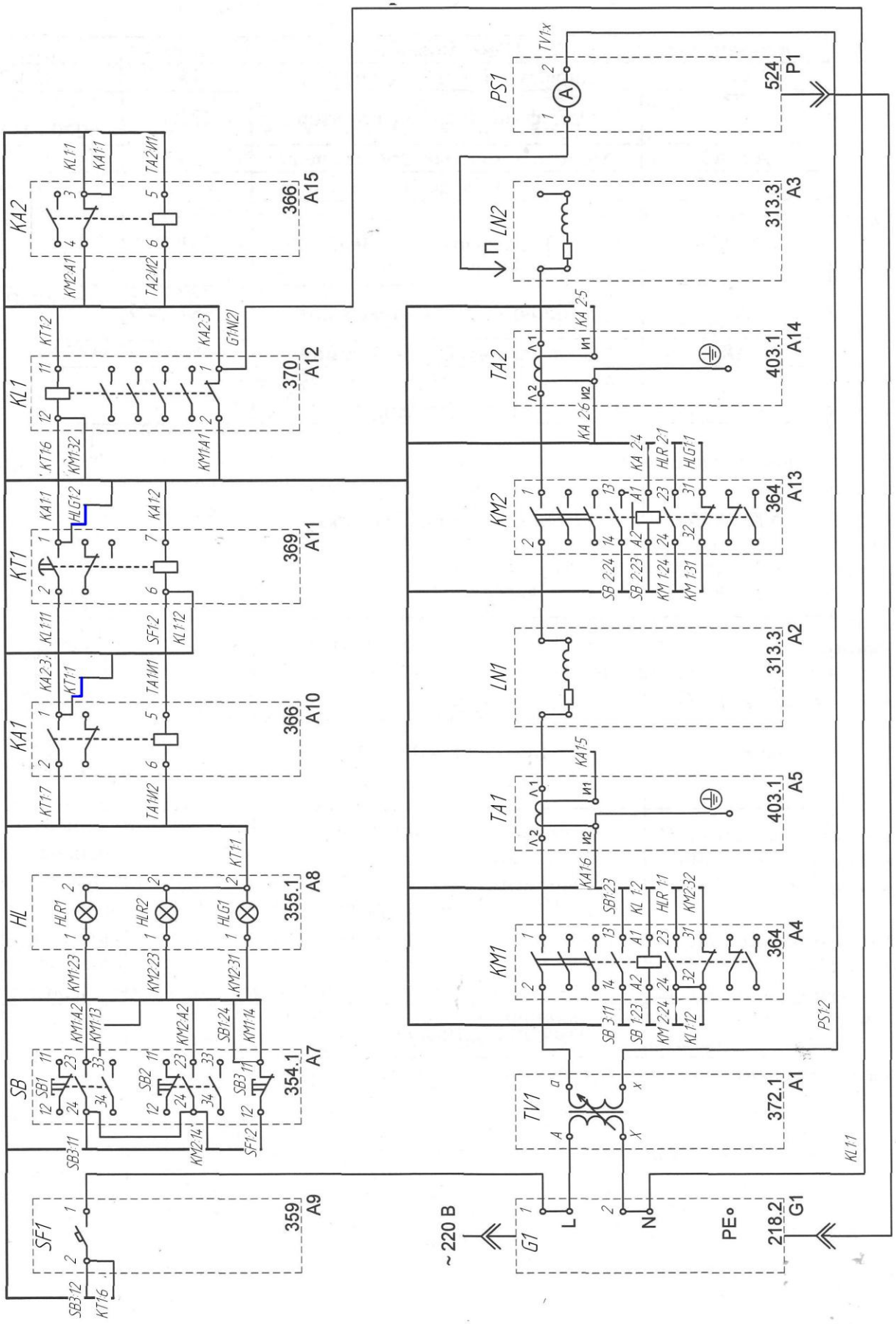
Моделирование максимальной токовой защиты радиальной электрической сети с односторонним питанием

Схема электрическая принципиальная





Электрическая схема соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Код	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.2	-220 В /10 А
A1	Однофазный трансформатор	372.1	80 ВА 220/198. ..242 В
A2,A3	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А
A4,A13	Контактор	364	-380 В /10 А
A5,A14	Трансформатор тока	403.1	1,0/1,0 А/ Upa6 = ~ 660 В/ Sh = 5 ВА
A7	Кнопочный пост управления	354.1	-500В /10А/ 3 кнопки
A8	Блок световой сигнализации	355.1	- 220 В / 3 лампы
A9	Автоматический однополюсный выключатель	359	-230 В /0,5 А
A10,A15	Реле максимального тока	366	Номинальный ток - 6,3 А / Уставка реле -1,0...2,0 А/ Коммутируемое напряжение 250 В Контакты 1з+1р.
AH	Реле времени	369	Напряжение питания -100...380 В/ Уставка реле 0,5...9,0 с/ Коммутируемое напряжение 380 В Контакты 1з+1р
A12	Промежуточное реле	370	Номинальное напряжение -220 В Ток контактов реле 5А/ Коммутируемое напряжение 250 В Контакты 1з+4р
P1	Измеритель тока и времени	524	0...5А/ 0,01. ..999 с

Указания по проведению эксперимента

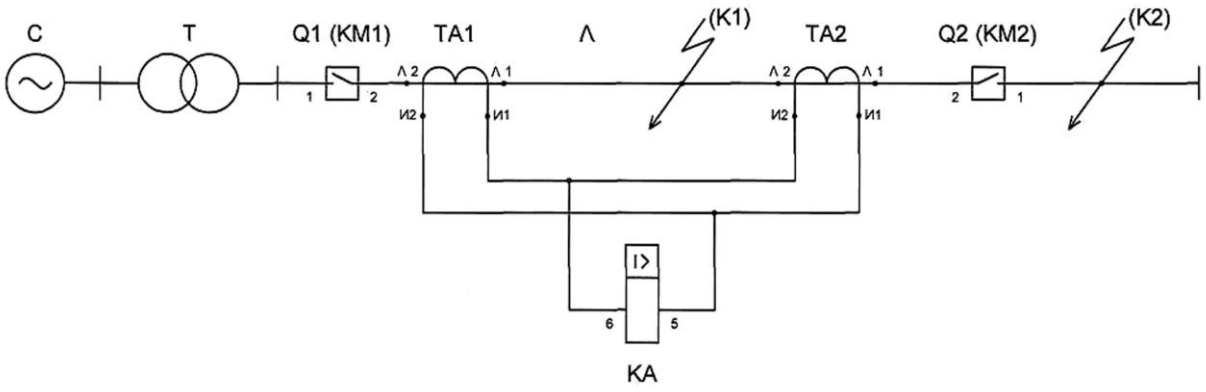
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚"устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Отключите (если включен) выключатель A9.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, 1,0.

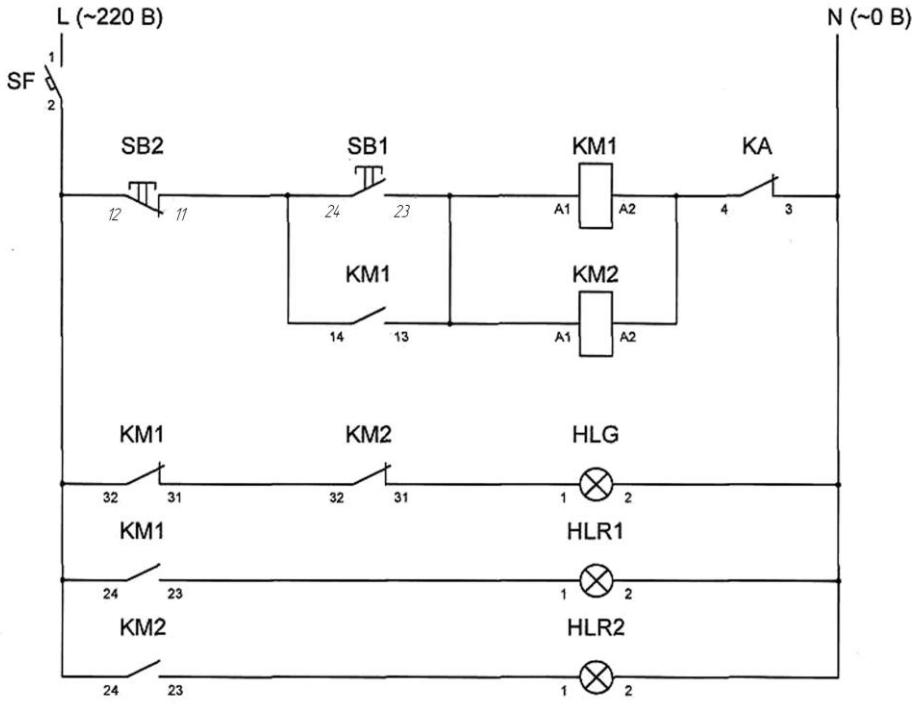
– Установите переключателями желаемые параметры моделей линий электропередачи А2 и А3, например, 50 Ом и 0,1 Гн.
– Установите желаемый ток срабатывания реле А10 и А15, например, 1,0 А.
– Установите желаемое время срабатывания реле АН, например, 1,0
– Включите выключатель «СЕТЬ» измерителя Р1.
– Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
– Включите выключатель А9. В результате загорится зеленая лампа блока А8, сигнализирующая о подаче оперативного напряжения.
– Нажмите последовательно две верхние кнопки поста управления А7. В результате включатся выключатели Ql, Q2 (контакторы А4, А13) и на линии Л1, Л2 (модели линий А2, А3) будет подано напряжение. Об этом будут сигнализировать загоревшиеся красные лампы в блоке А8. Зеленая лампа в блоке А8 погаснет.
– Смоделируйте короткое замыкание на линии электропередачи Л2. Для чего воткните проводник «П» в гнездо начала модели линии А3. В результате сработает мгновенная токовая отсечка и поврежденная линия Л2 (модель линии А3) отключится от источника питания выключателем Q2 (контактором А13). Вторая сверху красная лампа в блоке А8 погаснет.
– С индикаторов измерителя Р1 считайте значение тока короткого замыкания и время работы защиты.
– Выньте проводник «П» из гнезда.
– Нажмите вторую сверху кнопку поста управления А7. В результате включится выключатель Q2 (контактор А13) и на линию Л2 (модель линии А3) вновь будет подано напряжение. Об этом будет сигнализировать загоревшаяся вторая сверху красная лампа в блоке А8.
– Смоделируйте короткое замыкание на линии электропередачи Л1. Для чего воткните проводник «П» в гнездо конца модели линии А2. В результате сработает максимальная токовая защита и поврежденная линия электропередачи Л1 (модель линии А3) с выдержкой времени отключится от источника питания выключателем Q1 (контактором А4). Первая сверху красная лампа в блоке А8 погаснет.
– С индикаторов измерителя Р1 считайте значение тока короткого замыкания и время работы защиты.
– Выньте проводник «П» из гнезда.
– По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G1 и выключатель «СЕТЬ» измерителя Р1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

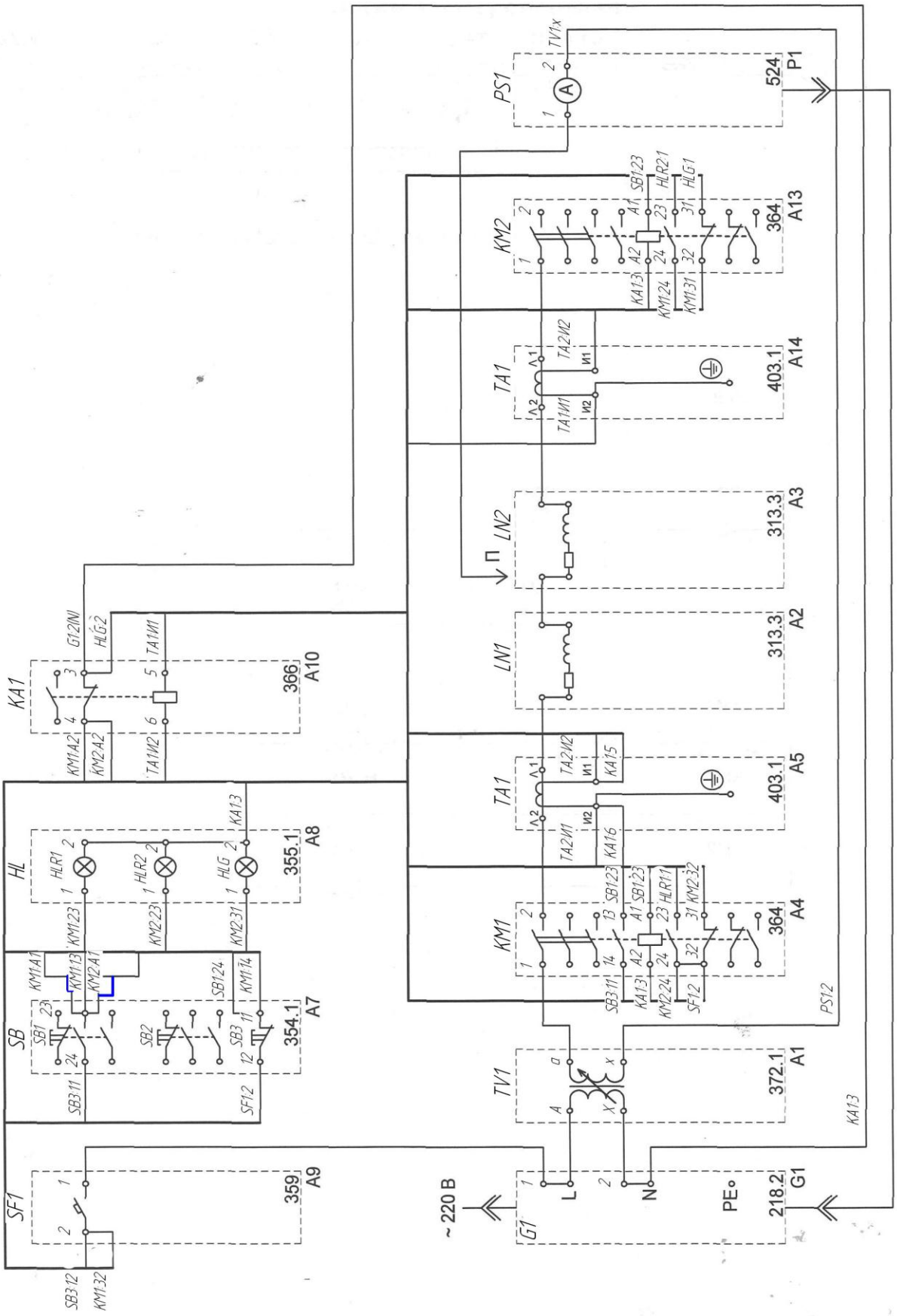
Моделирование дифференциальной защиты линии электропередачи

Схема электрическая принципиальная





Электрическая схема соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Код	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.2	-220 В /10 А
A1	Однофазный трансформатор	372.1	80 ВА 220/198...242 В
A2,A3	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А
A4,A13	Контактор	364	-380 В /10 А
A5,A14	Трансформатор тока	403.1	1,0/1,0 А/ Uра6 = ~ 660 В/ Sh = 5 ВА
A7	Кнопочный пост управления	354.1	-500 В /10 А/ 3 кнопки
A8	Блок световой сигнализации	355.1	- 220 В /3 лампы
A9	Автоматический однополюсный выключатель	359	-230 В /0,5 А
A10	Реле максимального тока	366	Номинальный ток - 6,3 А / Уставка реле -1,0...2,0 А/ Коммутируемое напряжение 250 В / Контакты 1з+1р.
P1	Измеритель тока и времени	524	0...5А/ 0,01...999 с

Указания по проведению

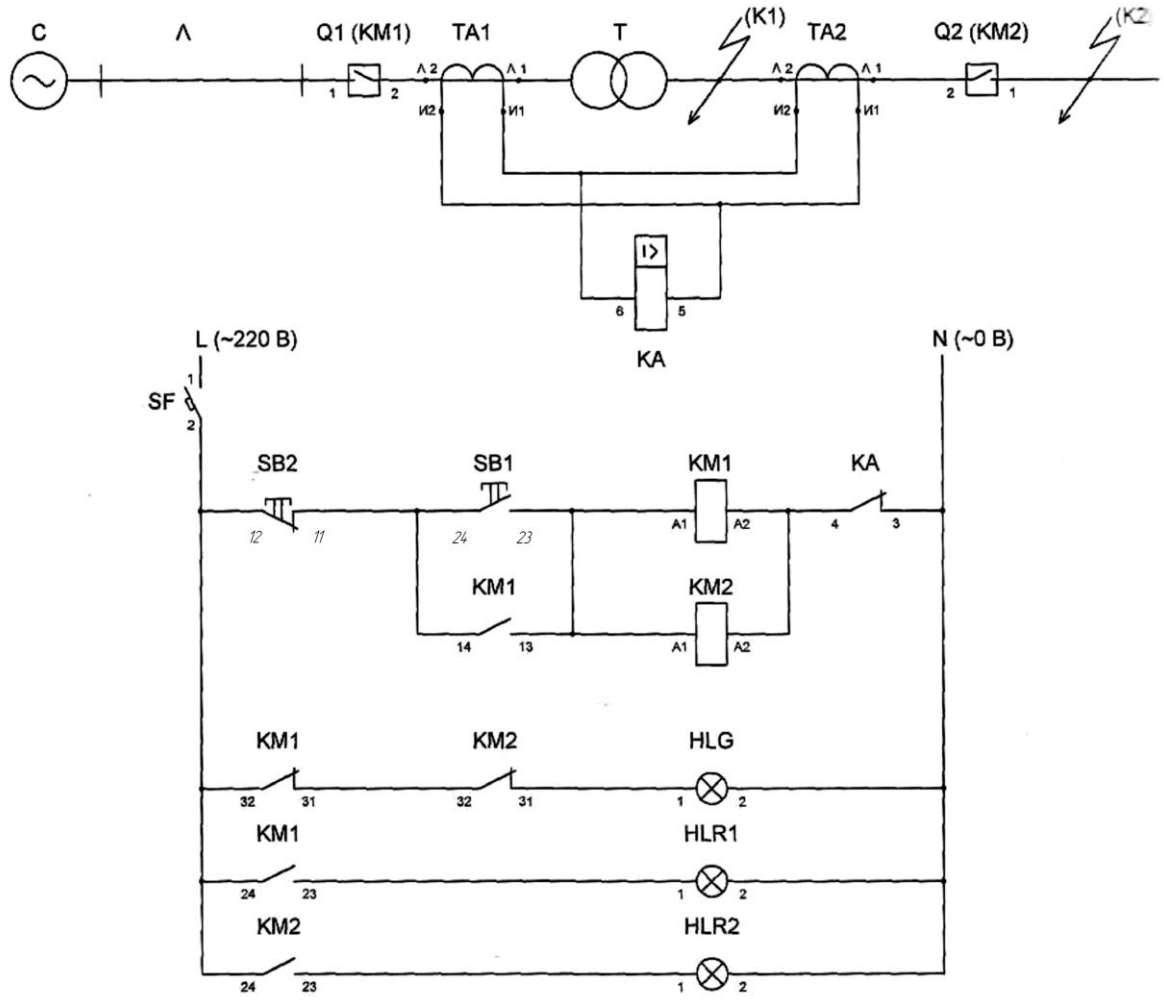
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Отключите (если включен) выключатель A9.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, 1,0.
- Установите желаемые параметры линии электропередачи Л, например, 100 Ом 1 0,2 Гн, а также место расположения на ней точки короткого замыкания, например, в середине линии. Для этого переключателями установите параметры моделей линии электропередачи A2 и A3 равными 50 Ом и 0,1 Гн.
- Установите желаемый ток срабатывания реле A10, например, 1,0 А.
- Включите выключатель «СЕТЬ » измерителя P1.

- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатель А9. В результате загорится зеленая лампа блока А8. сигнализирующая о подаче оперативного напряжения.
- Включить кнопку «пуск» поста управления А7. В результате включатся контакторы А4, А13 (выключатели Q1, Q2) и на модели линий А2, А3 (линию Л) будет подано напряжение. Об этом будут сигнализировать загоревшиеся красные лампы в блоке А8. Зеленая лампа в блоке А8 погаснет.
- Смоделируйте короткое замыкание *К1*на линии электропередачи Л. Для чего воткните проводник «П» в гнездо между моделями линий А2 и А3. В результате сработает дифференциальная защита и поврежденная линия Л (модели линий А2, А3 отключится (отключатся) от источника питания выключателями Q1 и QI (контакторами А4 и А13). Красные лампы в блоке А8 погаснут, а зеленая лампа загорится.
- С индикаторов измерителя Р1 считайте значение тока короткого замыкания и время работы защиты.
- Выньте проводник «П» из гнезда.
- Смоделировать короткое замыкание *К2* на конце линии Л (вне зоны действия дифференциальной защиты). Для чего воткнуть проводник «П» в гнездо «1» выключателя *Q2* (контактора А13). Убедиться, что дифференциальная защита в действии не приходит.
- Считать значение тока короткого замыкания
- Вынуть проводник «П» из гнезда.
- ***Внимание : продолжительность опыта короткого замыкания К2 не более 5 С.***
- По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G1выключатель «СЕТЬ» измерителя Р1.

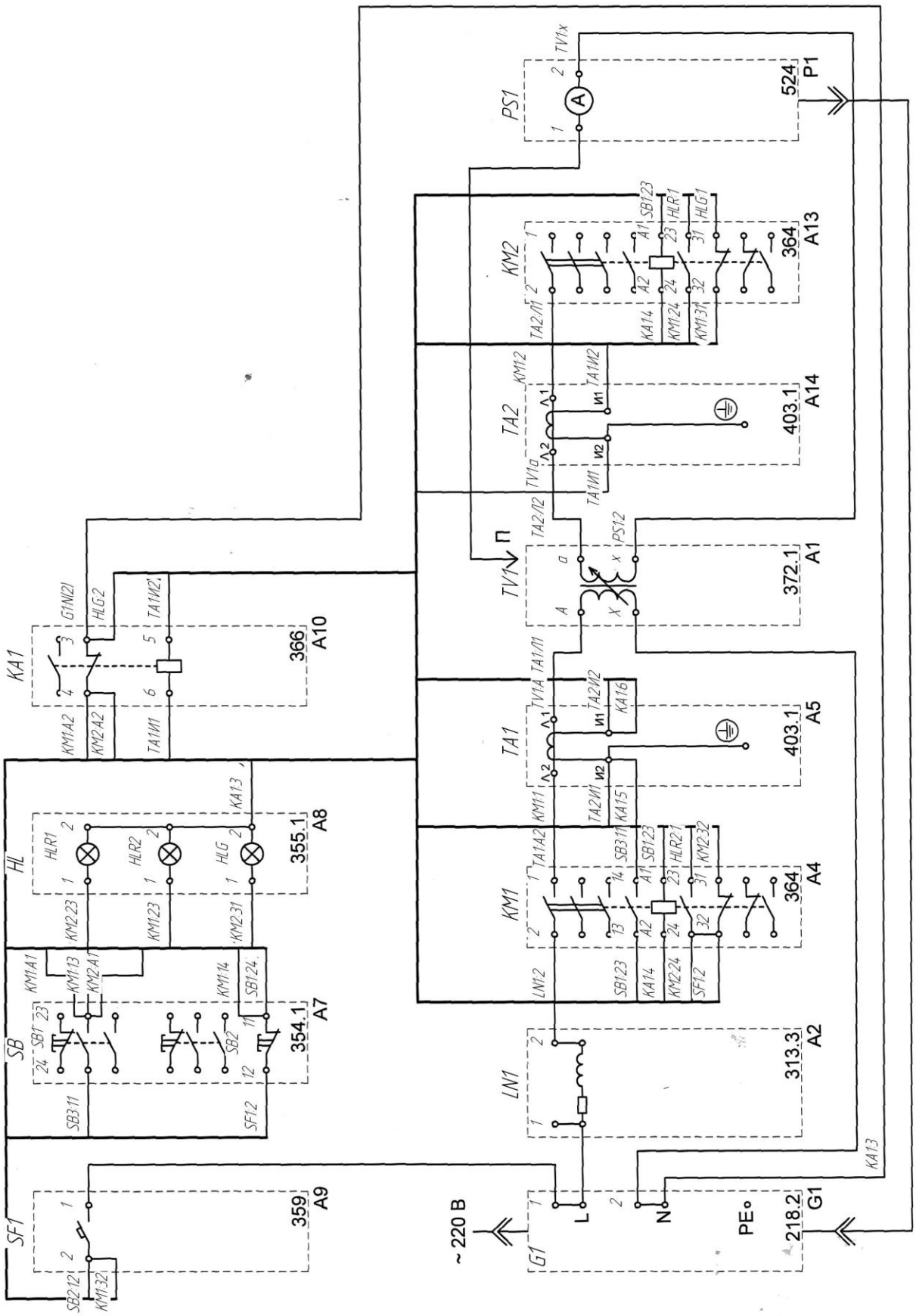
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Моделирование дифференциальной защиты трансформатора

Схема электрическая принципиальная



Электрическая схема соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Код	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.2	-220 В /10 А
A1	Однофазный трансформатор	372.1	80 ВА 220/198...242 В^
A4,A13	Контактор	364	-380 В /10 А
A5,A14	Трансформатор тока	403.1	1,0/1,0 А/ Uраб = ~ 660 В/ Sh = 5 ВА
A7	Кнопочный пост управления	354.1	-500 В /10 А/ 3 кнопки
A8	Блок световой сигнализации	355.1	- 220 В /3 лампы
A9	Автоматический однополюсный выключатель	359	-230 В /0,5 А
A10	Реле максимального тока	366	Номинальный ток - 6,3 А / Уставка реле -1,0...2,0 А/ Коммутируемое напряжение 250 В / Контакты 1з+1р.
P1	Измеритель тока и времени	524	0...5А/ 0,01. ..999 с
A2	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220в /0,3 А

Указания по проведению эксперимента

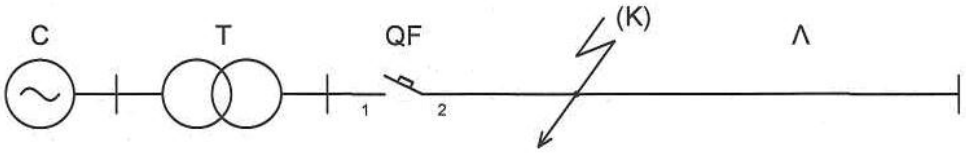
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Отключите (если включен) выключатель A9.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, 1,0.
- Установите желаемые параметры линии электропередачи Л, например, 100 Ом и 0,2 Гн, а также место расположения на ней точки короткого замыкания, например, в середине линии. Для этого переключателями установите параметры моделей линий электропередачи A2 и A3 равными 50 Ом и 0,1 Гн.
- Установите желаемый ток срабатывания реле A10, например, 1,0 А.
- Включите выключатель «СЕТЬ» измерителя P1.

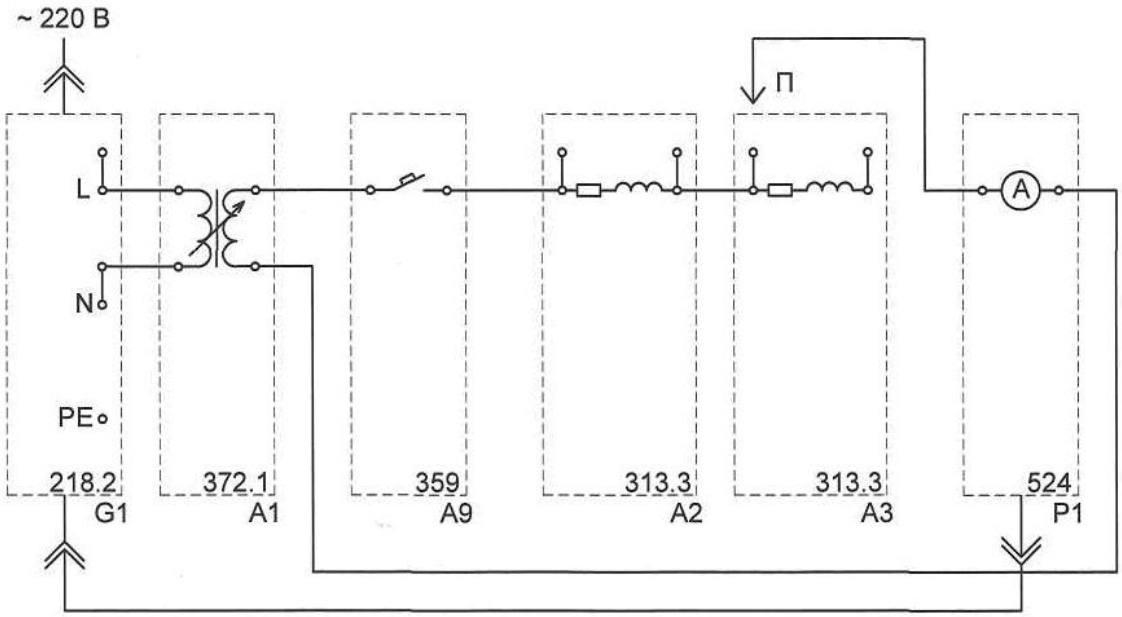
– Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
– Включите выключатель A9. В результате загорится зеленая лампа блока A8, сигнализирующая о подаче оперативного напряжения.
– Нажмите последовательно две верхние кнопки поста управления A7. В результате включатся контакторы A4, A13 (выключатели Q1, Q2) и на модели линий A2, A3 (линию Л) будет подано напряжение. Об этом будут сигнализировать загоревшиеся красные лампы в блоке A8. Зеленая лампа в блоке A8 погаснет.
– Смоделируйте короткое замыкание на линии электропередачи Л. Для чего воткните проводник «П» в гнездо между моделями линий A2 и A3. В результате сработает дифференциальная защита и поврежденная линия Л (модели линий A2, A3) отключится (отключатся) от источника питания выключателями Q1 и Q2 (контакторами A4 и A13). Красные лампы в блоке A8 погаснут, а зеленая лампа загорится.
– С индикаторов измерителя P1 считайте значение тока короткого замыкания и время работы защиты.
– Выньте проводник «П» из гнезда.
– По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G1 и выключатель «СЕТЬ» измерителя P1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Моделирование максимальной токовой защиты электрической цепи с помощью автоматического выключателя

Схема электрическая принципиальная





Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Код	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.2	-220 В /10 А
А1	Однофазный трансформатор	372.1	80 ВА 220/198...242 В
А2,А3	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А
А9	Автоматический однополюсный выключатель	359	-230 В /0,5 А
Р1	Измеритель тока и времени	524	0...5А/ 0,01. ..999 с

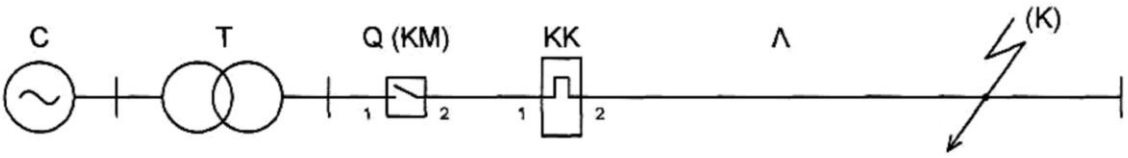
Указания по проведению эксперимента.

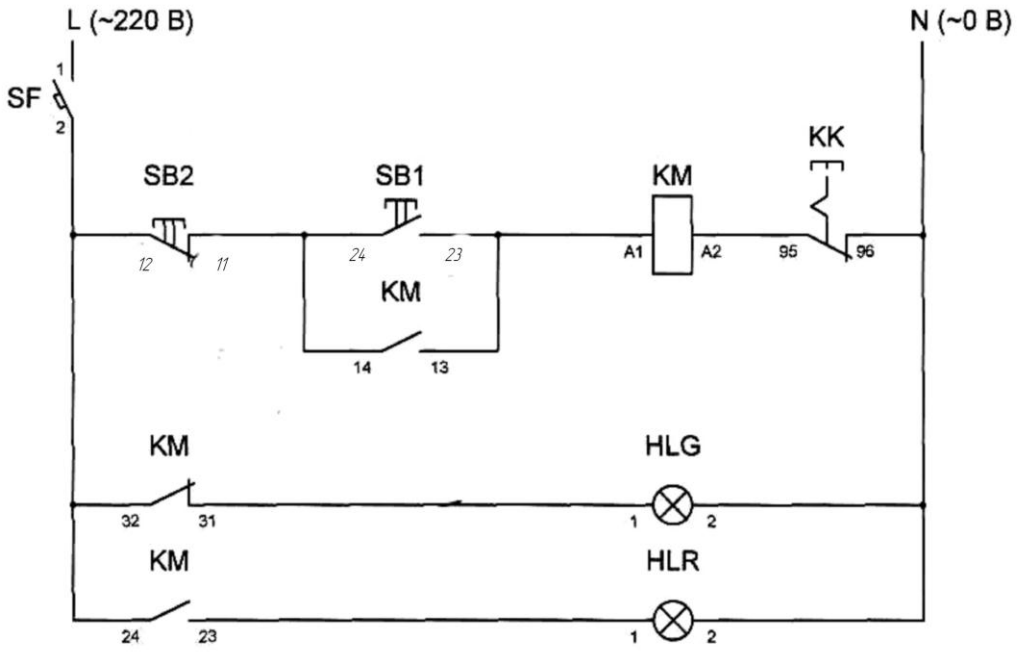
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Отключите (если включен) выключатель А9.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора А1, например, 1,0.
- Установите желаемые параметры линии электропередачи Л, например, 100 Ом и 2 Гн, а также место расположения на ней точки короткого замыкания, например, в середине линии. Для этого переключателями установите параметры моделей линий электропередачи А2 и А3 равными 50 Ом и 0,1 Гн.
- Включите выключатель «СЕТЬ» измерителя Р1.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатель А9.
- Смоделируйте короткое замыкание на линии электропередачи Л. Для чего воткните проводник «П» в гнездо между моделями линий А2 и А3. В результате сработает электромагнитный или тепловой расцепитель выключателя QF (А9) и поврежденная линия Л (модели линий А2, А3) отключится им от источника питания.
- С индикаторов измерителя Р1 считайте значение тока короткого замыкания и время работы защиты.
- Выньте проводник «П» из гнезда.
- По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G1 и выключатель «СЕТЬ» измерителя Р1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

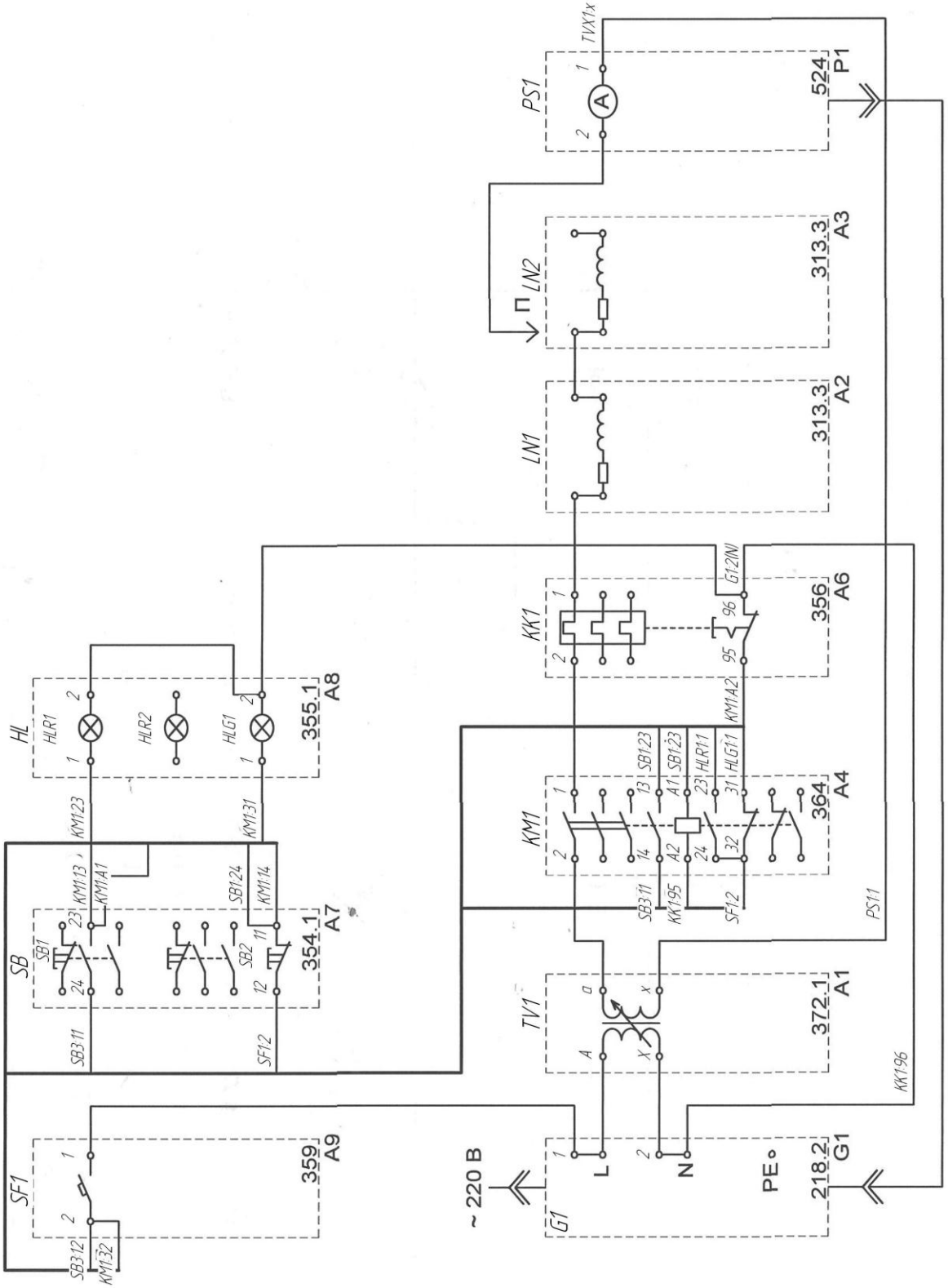
Моделирование тепловой защиты электрической цепи с помощью электротеплового реле

Схема электрическая принципиальная





Электрическая схема соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Код	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.2	-220 В /10 А
A1	Однофазный трансформатор	372.1	80 ВА 220/198...242 В
A2,A3	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А
A4	Контактор	364	-380 В /10 А
A6	Электротепловое реле	356	Главная цепь: -3х220 В/10 А. Уставка реле: 0,42...0,58 А.
A7	Кнопочный пост управления	354.1	-500 В /10 А/ 3 кнопки
A8	Блок световой сигнализации	355.1	- 220 В / 3 лампы
A9	Автоматический однополюсный выключатель	359	-230 В /0,5 А
P1	Измеритель тока и времени	524	0...5А/ 0,01...999 с

Указания по проведению эксперимента

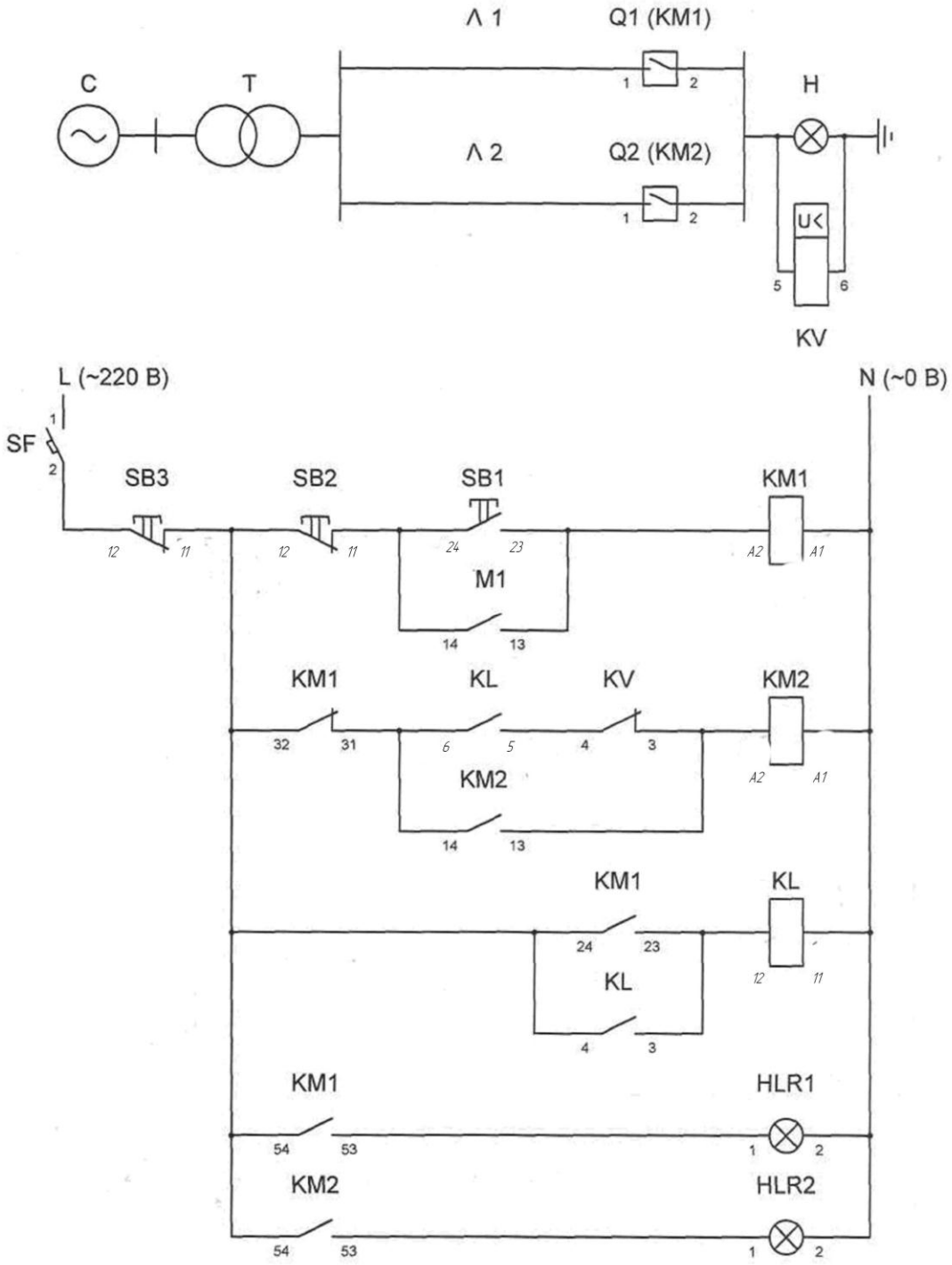
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Отключите (если включен) выключатель A9.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, 1,0.
- Установите желаемые параметры линии электропередачи Л, например, 100 Ом и 0,2 Гн, а также место расположения на ней точки короткого замыкания, например, в середине линии. Для этого переключателями установите параметры моделей линий электропередачи A2 и A3 равными 50 Ом и 0,1 Гн.
- Вращая регулировочный винт, установите желаемую уставку электротеплового реле A6.
- Если выступает шток электротеплового реле A6, то нажмите его.
- Включите выключатель «СЕТЬ» измерителя P1.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатель A9.

– Смоделируйте короткое замыкание на линии электропередачи Л. Для чего воткните проводник «П» в гнездо между моделями линий А2 и А3. В результате через некоторое время сработает электротепловое реле и поврежденная линия Л (модели линий А2, А3) отключится им от источника питания.
– С индикаторов измерителя Р1 считайте значение тока короткого замыкания и время работы защиты.
– Выньте проводник «П» из гнезда.
– По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G1 и выключатель «СЕТЬ» измерителя Р1.

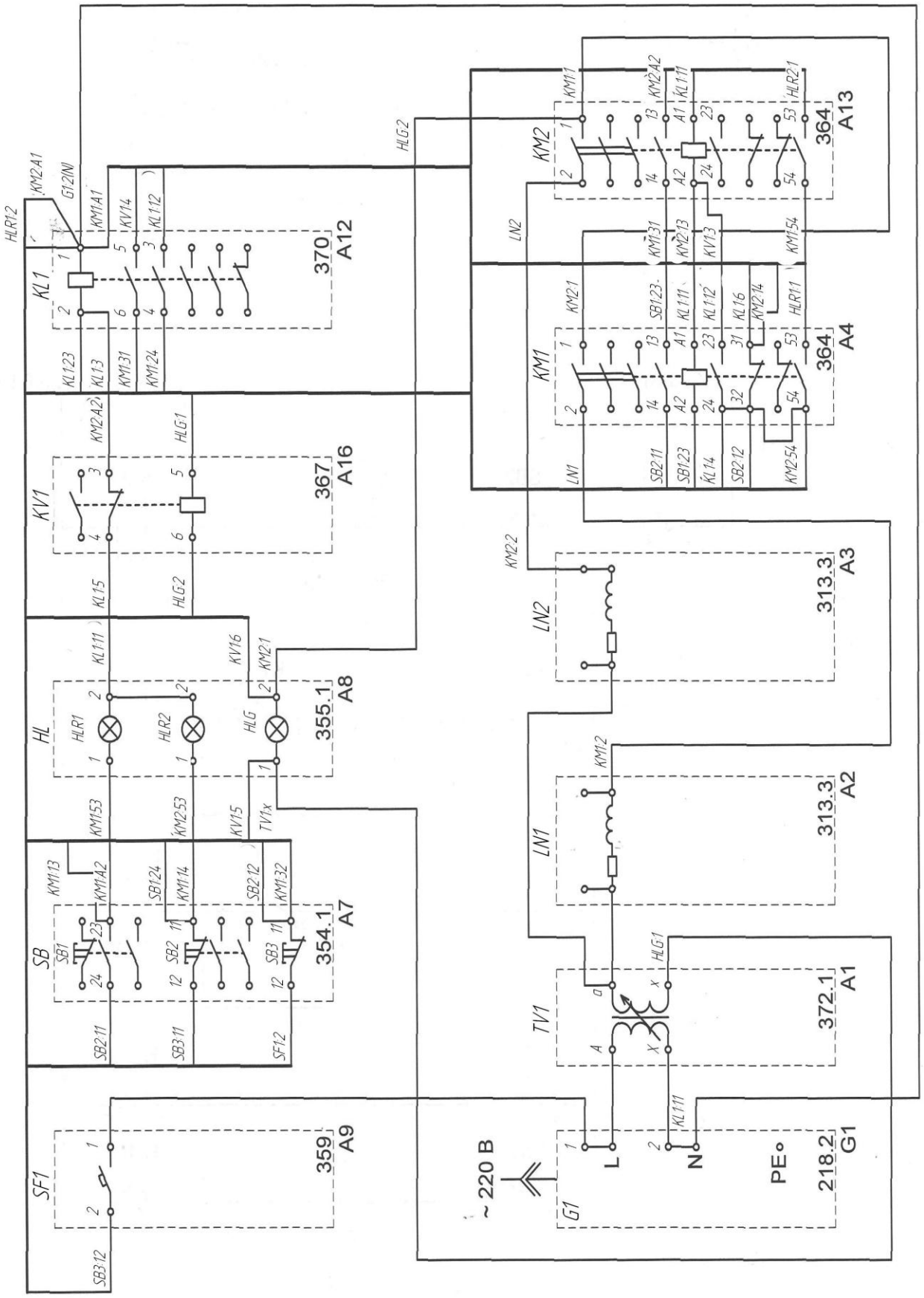
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

<u>Автоматическое включение резервного питания нагрузки</u>

Схема электрическая принципиальная



Электрическая схема соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Код	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.2	-220 В /10 А
A1	Однофазный трансформатор	372.1	80 ВА 220/198...242 В
A2,A3	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А
A4,A13	Контактор	364	-380 В /10 А
A7	Кнопочный пост управления	354.1	-500 В /10 А/ 3 кнопки
A8	Блок световой сигнализации	355.1	-220 В /3 лампы
A9	Автоматический однополюсный выключатель	359	- 230 В / 0,5 А
A12	Промежуточное реле	370	Номинальное напряжение -220 В / Ток контактов реле 5А/ Коммутируемое напряжение 250 В / Контакты 1з+4р
A16	Реле минимального напряжения	367	-160...320 В/ (1з+1р) контакт

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Отключите (если включен) выключатель A9.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, 1,0.
- Установите напряжение срабатывания реле минимального напряжения A16, например, 200 В.
- Включите выключатель «СЕТЬ» измерителя P1.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатель A9.
- Нажмите верхнюю кнопку поста управления A7. В результате включится выключатель Q1 (контактор A4) и загорится имитирующая нагрузку H зеленая лампа в блоке A8 (нагрузка H будет получать

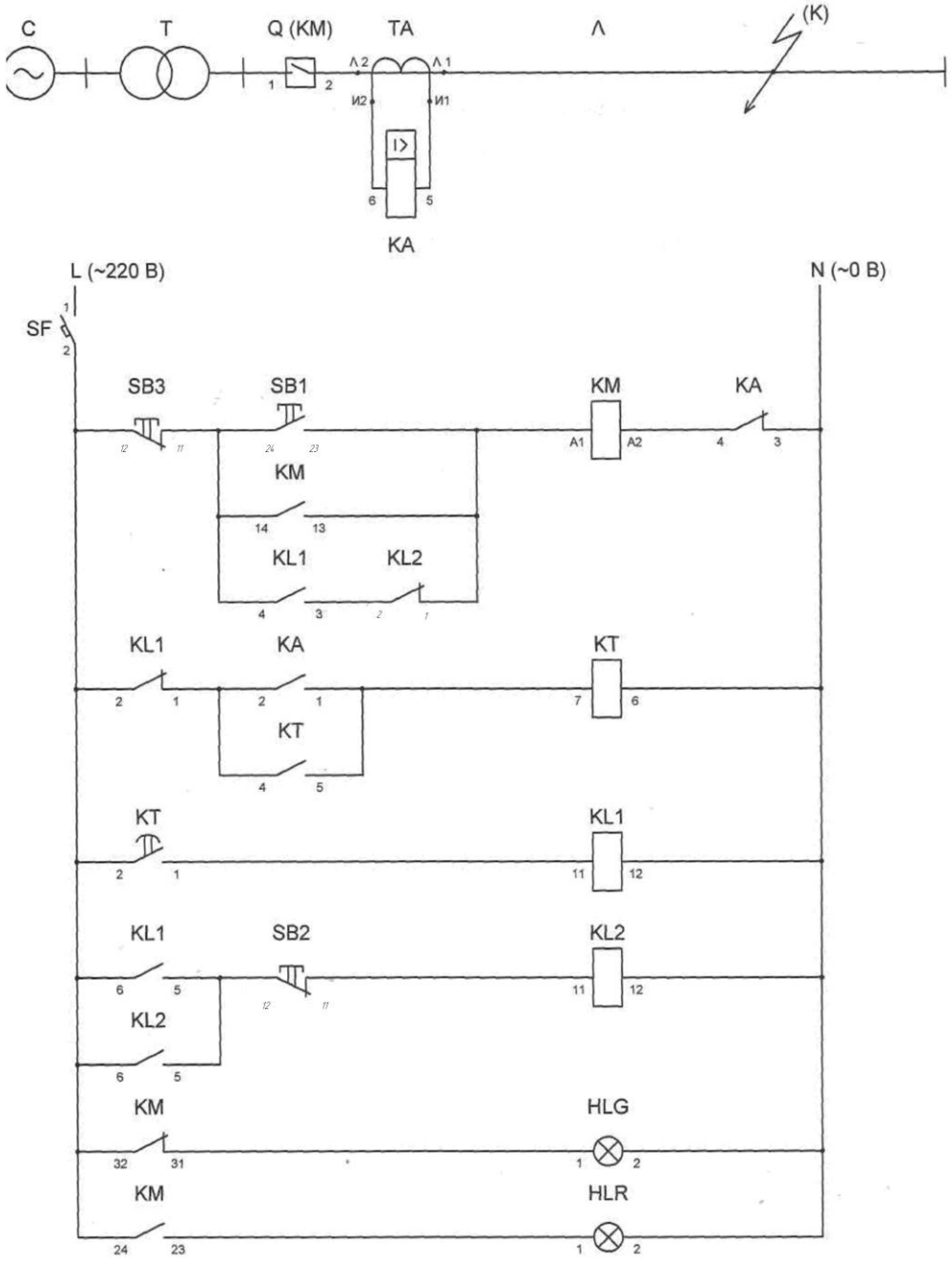
питание по линии электропередачи Л1 и сигнализировать об этом будет верхняя красная лампа в блоке А8).

- Смоделируйте исчезновение напряжения на нагрузке Н отключением выключателя Q1 (контактора А4) путем нажатия второй сверху кнопки поста управления А7. В результате работы автоматики включится выключатель Q2 (контактор А13) и нагрузка продолжит получать питание, но уже по резервной линии электропередачи Л2 и об этом будет сигнализировать уже вторая сверху красная лампа в блоке А8.
- Смоделируйте восстановление питания нагрузки Н по основной линии электропередачи Л1 путем нажатия верхней кнопки управления А7. В результате включится выключатель Q1 (контактор А4), отключится выключатель Q2 (контактор А13) и нагрузка Н вновь продолжит получать питание только по основной линии электропередачи Л1.
- По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G1.

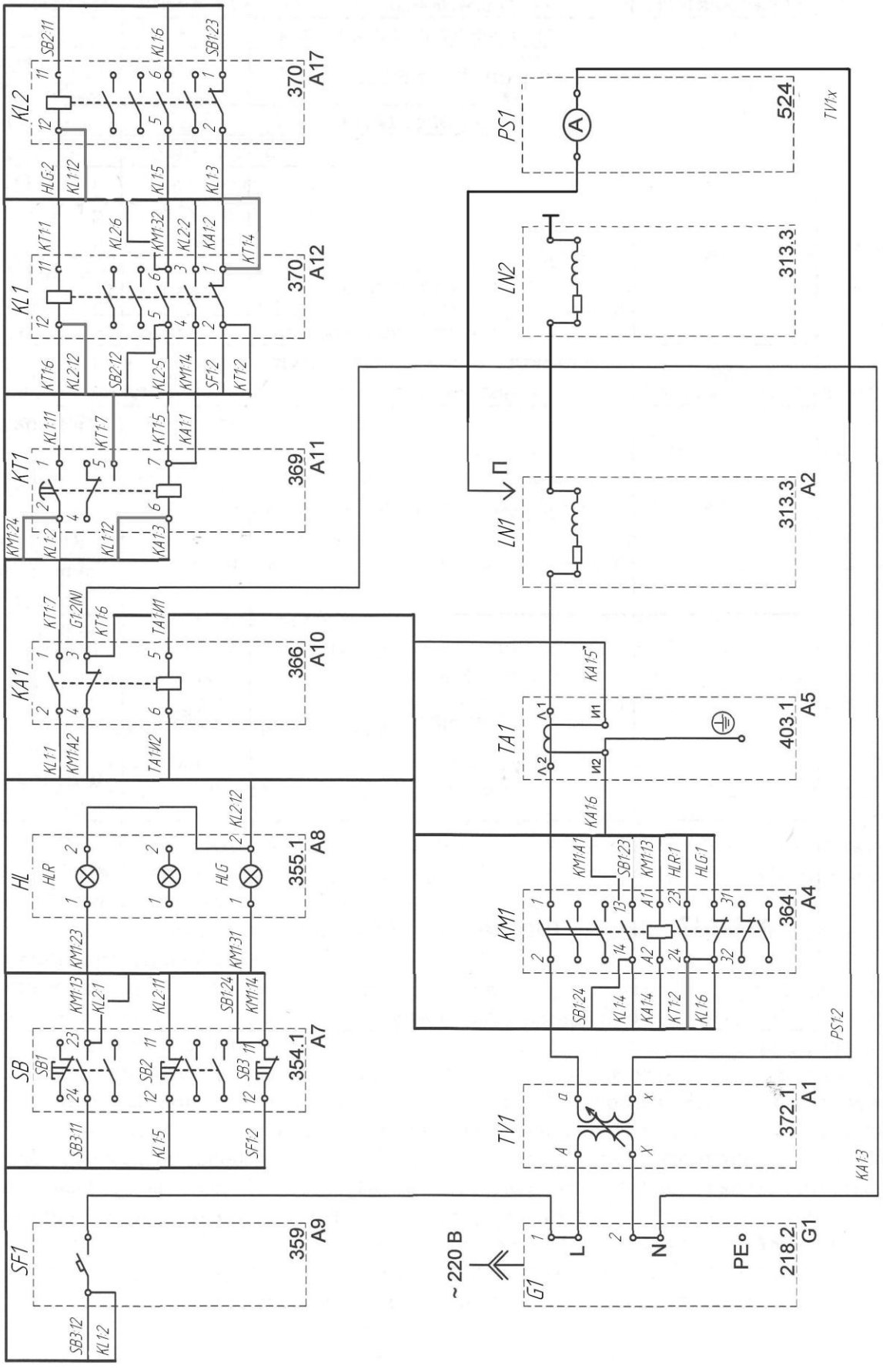
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

Автоматическое повторное включение линии электропередачи

Схема электрическая принципиальная



Электрическая схема соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Код	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.2	-220 В /10 А
A1	Однофазный трансформатор	372.1	80 ВА 220/198. ..242 В
A2	Модель линии электропередачи	313.3	~ 220 В / 0,3 А
A4	Контактор	364	-380 В /10 А
A5	Трансформатор тока	403.1	1,0/1,0 А/ Uраб = ~ 660 В/ Sh = 5 ВА
A7	Кнопочный пост управления	354.1	-500 В /10 А/ 3 кнопки
A8	Блок световой сигнализации	355.1	-220 В /3 лампы
A9	Автоматический однополюсный выключатель	359	-230 В /0,5 А
A10	Реле максимального тока	366	Номинальный ток - 6,3 А / Уставка реле -1,0. ..2,0 А/ Коммутируемое напряжение 250 В / Контакты 1з+1р.
АН	Реле времени	369	Напряжение питания -100...380 В/ Уставка реле 0,5...9,0 с/ Коммутируемое напряжение 380 В / Контакты 1з+1р
A12,A17	Промежуточное реле	370	Номинальное напряжение -220 В / Ток контактов реле 5А/ Коммутируемое напряжение 250 В / Контакты 1з+4р

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.
- Отключите (если включен) выключатель A9.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, 1,0.
- Установите желаемые параметры линии электропередачи Л (модели линии электропередачи A2), например, 50 Ом и 0,1 Гн.
- Установите желаемый ток срабатывания реле A10, например, 1,0 А.
- Установите желаемое время срабатывания реле A11 (время АПВ), например, 3,0 с.
- Включите выключатель «СЕТЬ» измерителя P1.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатель A9. В результате загорится зеленая лампа блока A8, сигнализирующая о подаче оперативного напряжения.
- Нажмите верхнюю кнопку поста управления A7. В результате включится контактор A4 (выключатель Q) и на модель линии A2 (линию Л) будет подано напряжение. Об этом будет сигнализировать загоревшаяся красная лампа в блоке A8. Зеленая лампа в блоке A8 погаснет.
- Смоделируйте короткое замыкание на линии электропередачи Л. Для чего воткните проводник «П» в гнездо между моделями линий A2 и A3. В результате сработает мгновенная токовая отсечка и поврежденная линия электропередачи Л (модель линии A2) отключится от источника питания выключателем Q (контактором A4). Красная лампа в блоке A8 погаснет, а зеленая загорится.
- Сразу после отключения контактора A4 смоделируйте самоустранение короткого замыкания на линии электропередачи Л путем вынимания проводника «П» из гнезда. В результате действия автоматики через заданное время 3,0 с произойдет повторное включение выключателя Q (контактора A4) и линия электропередачи вновь окажется под напряжением (произойдет успешное АПВ линии электропередачи). Об этом будет сигнализировать красная лампа в блоке A8.
- Для восстановления работоспособности схемы АПВ нажмите вторую сверху кнопку поста управления A7.
- Вновь смоделируйте короткое замыкание на линии электропередачи Л. Для чего воткните проводник «П» в гнездо между моделями линий A2 и A3. В результате сработает мгновенная токовая отсечка и

поврежденная линия электропередачи Л (модель линии А2) отключится от источника питания выключателем Q (контактором А4). Красная лампа в блоке А8 погаснет, а зеленая загорится. Через заданное время 3,0 с произойдет повторное включение выключателя Q (контактора А4) и линия электропередачи вновь окажется под напряжением при сохранившемся коротком замыкании на ней. Поэтому вновь сработает мгновенная токовая отсечка и поврежденная линия электропередачи Л (модель линии А2) отключится от источника питания выключателем Q (контактором А4). Красная лампа в блоке А8 погаснет, а зеленая загорится. Таким образом АПВ линии электропередачи будет не успешным.

– По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

Схемы соединения измерительных трансформаторов тока

Общие сведения

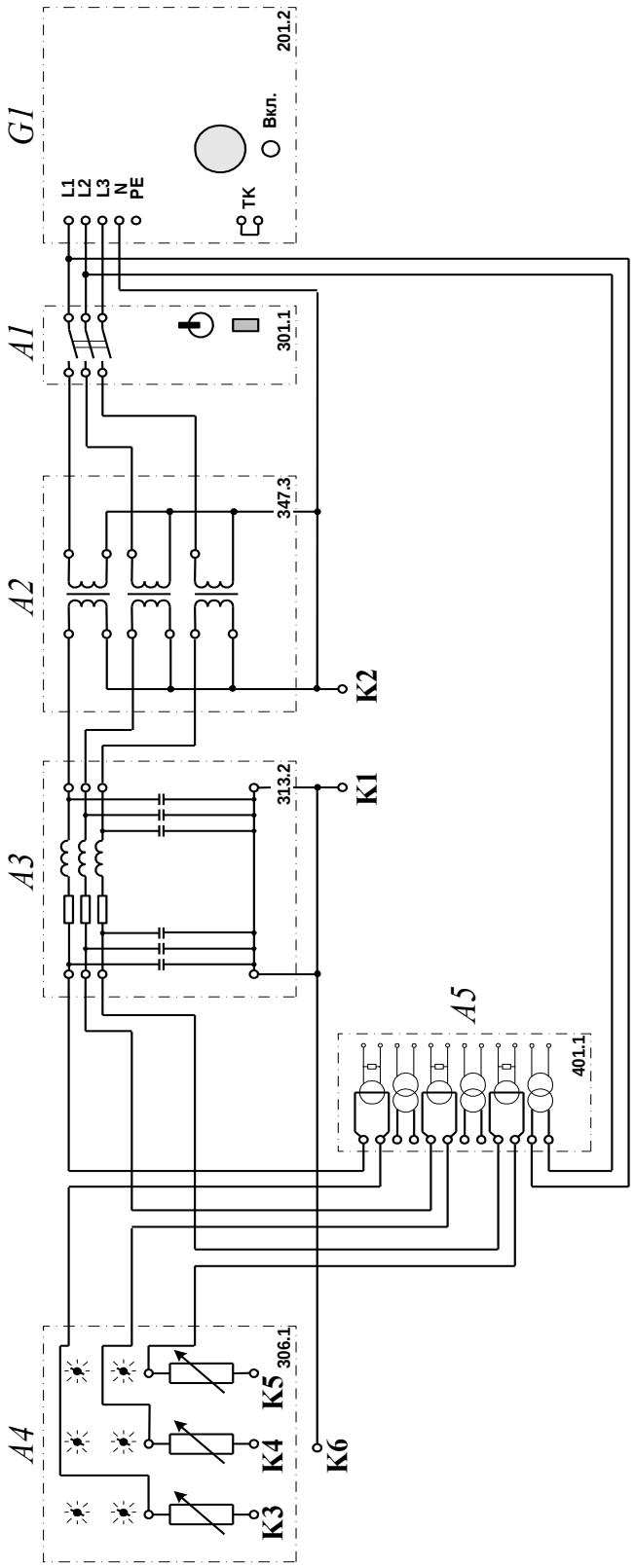
Трансформаторы тока питают цепи защиты токами, пропорциональными токам сети.

Такое 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.

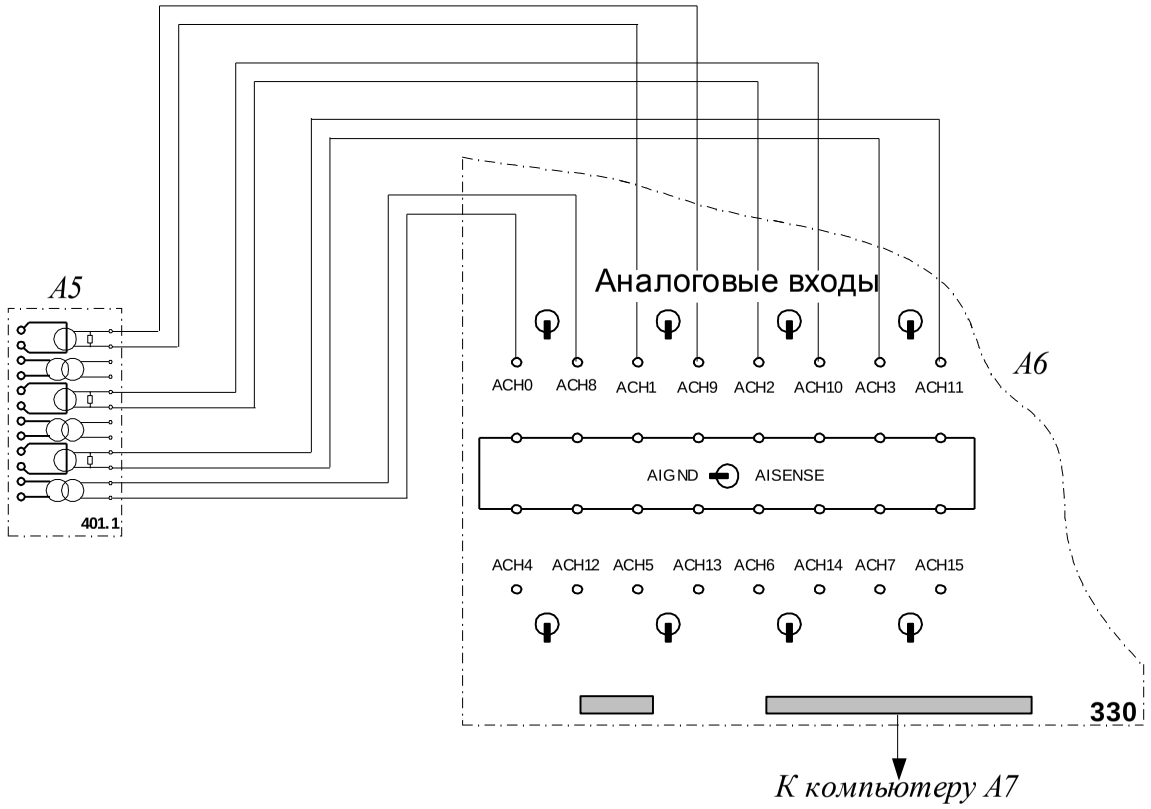
В данном эксперименте используются три трансформатора тока, включенные в фазы некоторой сети. Существует возможность менять параметры сети и устраивать в ней различные короткие замыкания.

С помощью специальной программы на компьютере можно виртуально собирать вторичные обмотки трансформаторов тока в различные типовые схемы и в реальном времени наблюдать распределение токов в схемах, а также осциллограммы и векторные диаграммы этих токов.

Электрическая схема соединений



Электрическая схема соединений (продолжение)



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A2	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 х 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A3	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A4	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A5	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A6	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A7	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, плата сбора информации PCI 6024E

Описание электрической схемы соединений

Активная нагрузка A4 через трехполюсный выключатель A1, блок A2 однофазных трансформаторов и через модель линии электропередачи A3 подключена к трехфазному источнику питания G1. Трансформаторы тока блока A5 измерительных трансформаторов тока и напряжения включены на токи фаз активной нагрузки A4. Один из трансформаторов напряжения блока A5 включен на междуфазное напряжение сети, используемое как опорное при построении векторных диаграмм.

Вторичные сигналы с трансформаторов тока и напряжения блока A5 подключены к аналоговым входам коннектора A6, который в свою очередь соединен гибким ленточным шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера A7.

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» источника G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Смоделируйте режим работы сети – например, для сети с заземленной нейтралью соедините точки К1 и К2.

Смоделируйте «короткое замыкание» (в данном случае, строго говоря, короткое замыкание не является таковым, т.к. производится через токоограничивающие сопротивления нагрузки А4) – например, двухфазное на землю фаз А и С, для чего соедините точки К3, К5 и К6 между собой.

Переключатель режима работы трехполюсного выключателя А1 установите в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока А2 выставьте равными, например, 230/230 В. Параметры линии электропередачи А3 переключателями установите, например, следующими: R = 150 Ом, L/R_L=1,2/32 Гн/Ом, С1=С2=0,15 мкФ. Выберите мощность активной нагрузки А4, например 40% от 50 Вт во всех трех фазах.

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

Включите выключатель «СЕТЬ» выключателя А1.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А7, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «Трансформаторы тока.exe».

Для начала сбора данных нажмите на виртуальную кнопку «Пуск».

Включите выключатель А1. 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.

Выбирайте интересующую схему соединений трансформаторов тока из раскрывающегося списка на экране компьютера, изменяйте параметры активной нагрузки А4, вид замыкания и/или режим заземления нейтрали и наблюдайте получающиеся векторные диаграммы.

При работе с программой следует пользоваться её возможностями:

- Все векторные диаграммы можно увеличивать и уменьшать, нажимая на кнопки «Масштаб».
- Нажимая на кнопки «Поворот», все векторные диаграммы можно поворачивать. При этом каждый вектор поворачивается вокруг своего начала.

– На векторной диаграмме токов трансформаторов тока и реле каждый из векторов можно двигать параллельно самому себе, используя группы кнопок с красными стрелками. Уменьшить шаг перемещения векторов можно, удерживая при нажатии на кнопку со стрелкой клавишу Shift. Вернуться к начальному положению вектора можно, нажав на кнопку в центре соответствующей группы.
– Масштабирование осциллограмм токов фаз производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
– Двигать векторные диаграммы и график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на соответствующем объекте правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
– Цвета ветвей схемы, осциллограмм, векторов на векторных диаграммах и надписей около групп кнопок со стрелками соответствуют друг другу.
– Цвета фаз сети соответствуют общепринятым.

В качестве опорного напряжения можно использовать отличное от указанного на схеме междуфазное или любое из фазных напряжений (это целесообразно при «нестабильности» векторных диаграмм, т.е. при быстром случайном изменении углов каких-либо векторов).

По завершении эксперимента отключите выключатель A1 и источник G1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

Схемы соединения измерительных трансформаторов напряжения

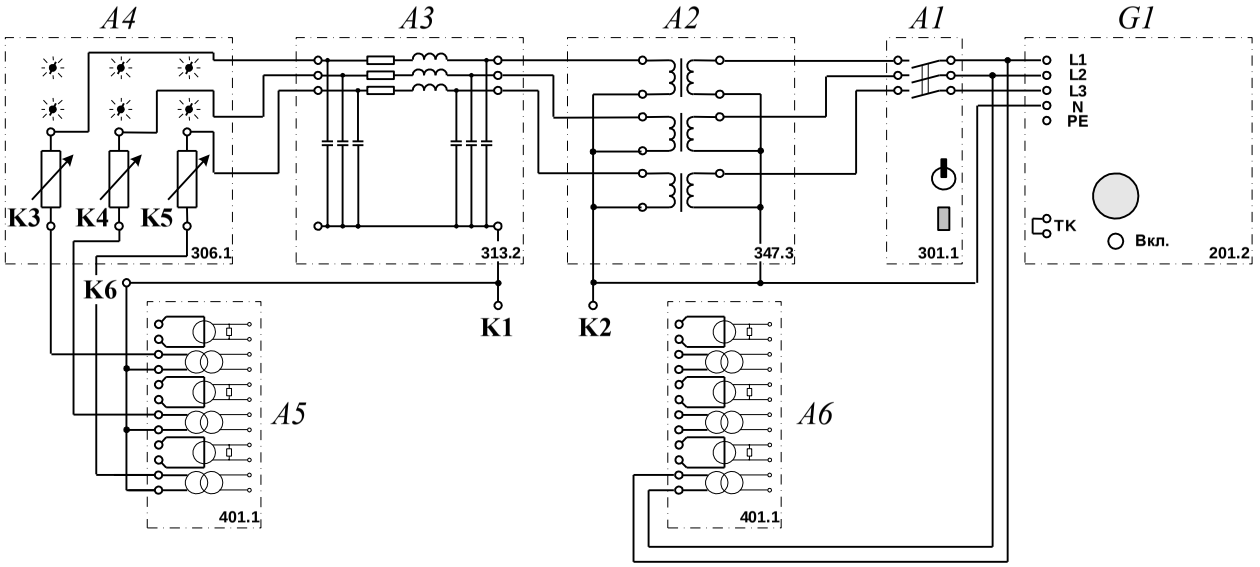
Общие сведения

Трансформаторы напряжения формируют для цепей релейной защиты напряжения, пропорциональные междуфазным напряжениям и фазным – относительно земли, а также симметричным составляющим этих напряжений. Существуют типовые схемы соединений трансформаторов напряжения и схемы фильтров, позволяющие получить указанные напряжения.

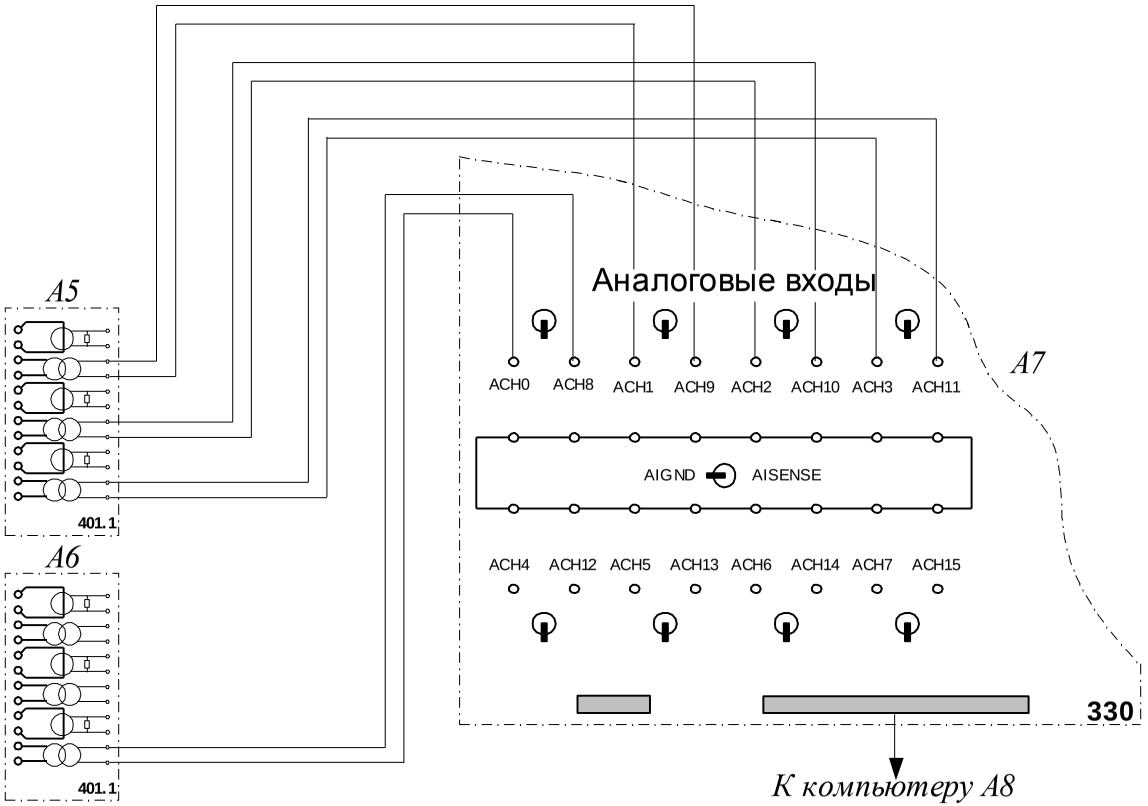
В данном эксперименте используются три трансформатора напряжения, подключенные к фазам некоторой сети. Существует возможность менять параметры сети и устраивать в ней различные короткие замыкания.

С помощью специальной программы на компьютере можно виртуально собирать вторичные обмотки трансформаторов напряжения в различные типовые схемы и в реальном времени наблюдать значения напряжений на виртуальных реле, а также осциллограммы и векторные диаграммы этих напряжений.

Электрическая схема соединений



Электрическая схема соединений (продолжение)



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A2	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 х 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A3	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A4	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A5, A6	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A7	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A8	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, плата сбора информации PCI 6024E

Описание электрической схемы соединений

Активная нагрузка A4 через трехполюсный выключатель A1, трехфазную трансформаторную группу A2 и через модель линии электропередачи A3 подключена к трехфазному источнику питания G1. Трансформаторы напряжения блока A5 измерительных трансформаторов тока и напряжения включены на напряжения фаз относительно модельной «земли». Один из трансформаторов напряжения блока A6 включен на междуфазное напряжение сети, используемое как опорное при построении векторных диаграмм.

Вторичные сигналы с трансформаторов напряжения блоков А5 и А6 подключены к аналоговым входам коннектора А7, который, в свою очередь, соединен гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера А8.

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» источника G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Смоделируйте режим работы сети – например, для сети с заземленной нейтралью соедините точки К1 и К2.

Смоделируйте короткое замыкание (в данном случае, строго говоря, короткое замыкание не является таковым, т.к. производится через токоограничивающие сопротивления нагрузки А4) – например, двухфазное на землю фаз А и С, для чего соедините точки К3, К5 и К6 между собой.

Переключатель режима работы трехполюсного выключателя А1 установите в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока А2 выставьте равными, например, 230/230 В. Параметры линии электропередачи А3 переключателями установите, например, следующими: R = 150 Ом, L/R_L=1,2/32 Гн/Ом, С1=С2=0,15 мкФ. Выберите мощность активной нагрузки А4, например 40% от 50 Вт во всех трех фазах.

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

Включите выключатель «СЕТЬ» выключателя А1.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А8, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «Трансформаторы напряжения».

Для начала сбора данных нажмите на виртуальную кнопку «Пуск».

Включите выключатель А1. На экране компьютера отобразятся векторные диаграммы напряжений фаз относительно земли и напряжений на виртуальных реле, а также симметричные составляющие напряжений фаз. На виртуальной схеме соединений трансформаторов напряжения и реле появятся действующие значения напряжений в ее различных частях. Правее этой схемы можно наблюдать осциллограммы напряжений фаз относительно земли.

Выбирайте интересующую схему соединений трансформаторов напряжения из раскрывающегося списка на экране компьютера, изменяйте параметры активной нагрузки А4, изменяйте вид замыкания и/или режим заземления нейтрали и наблюдайте получающиеся векторные диаграммы.

При работе с программой следует пользоваться её возможностями:

- Все векторные диаграммы можно увеличивать и уменьшать, нажимая на кнопки «Масштаб».
- Нажимая на кнопки «Поворот», все векторные диаграммы можно поворачивать. При этом каждый вектор поворачивается вокруг своего начала.
- На векторной диаграмме напряжений трансформаторов напряжения и реле каждый из векторов можно двигать параллельно самому себе, используя группы кнопок с красными стрелками. Уменьшить шаг перемещения векторов можно, удерживая при нажатии на кнопку со стрелкой клавишу Shift. Вернуться к начальному положению вектора можно, нажав на кнопку в центре соответствующей группы.
- Масштабирование осциллограмм напряжений фаз производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Двигать векторные диаграммы и график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на соответствующем объекте правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Цвета ветвей схемы, осциллограмм, векторов на векторных диаграммах и надписей около групп кнопок со стрелками соответствуют друг другу.
- Цвета фаз сети соответствуют общепринятым.

В качестве опорного напряжения можно использовать отличное от указанного на схеме междуфазное или любое из фазных напряжений (это целесообразно при «нестабильности» векторных диаграмм, т.е. при быстром случайном изменении углов каких-либо векторов).

По завершении эксперимента отключите выключатель A1 и источник G1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

Максимальная токовая защита/отсечка двух линий электропередачи с односторонним питанием

Общие сведения

Одним из признаков возникновения короткого замыкания является увеличение тока в линии. Этот признак используется для выполнения защит, называемых токовыми. Токовые защиты приходят в действие при увеличении тока в фазах линии сверх определенного значения.

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.

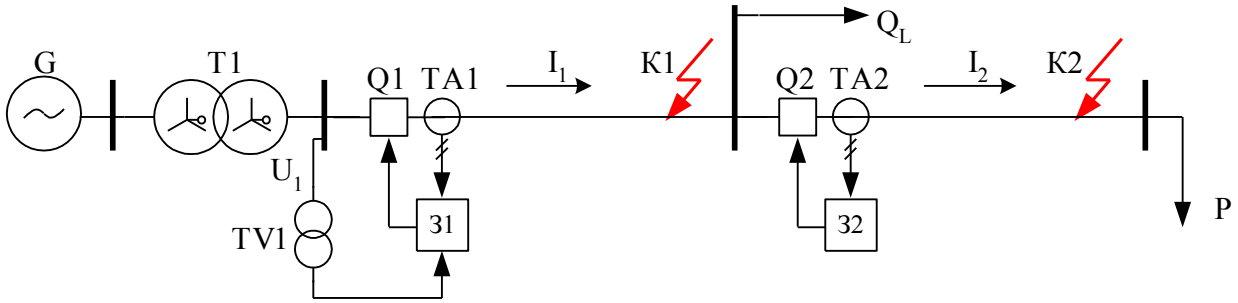
В сетях с односторонним питанием максимальная защита должна устанавливаться в начале каждой линии со стороны источника питания. Тогда каждая линия имеет самостоятельную защиту, отключающую линию в случае повреждения на ней самой или на шинах питающейся от нее подстанции.

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 данном эксперименте используются две последовательно соединенные линии (см. рис), подключенные к источнику G через трансформатор T1 и выключатели Q1 и Q2. 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 З1 и З2 моделируются на компьютере с помощью специальной программы. Защита З1 может работать с независимой или зависимой выдержкой времени, а также с блокировкой по напряжению или без нее. Защита З2 может работать только с независимой выдержкой времени без блокировки по напряжению.

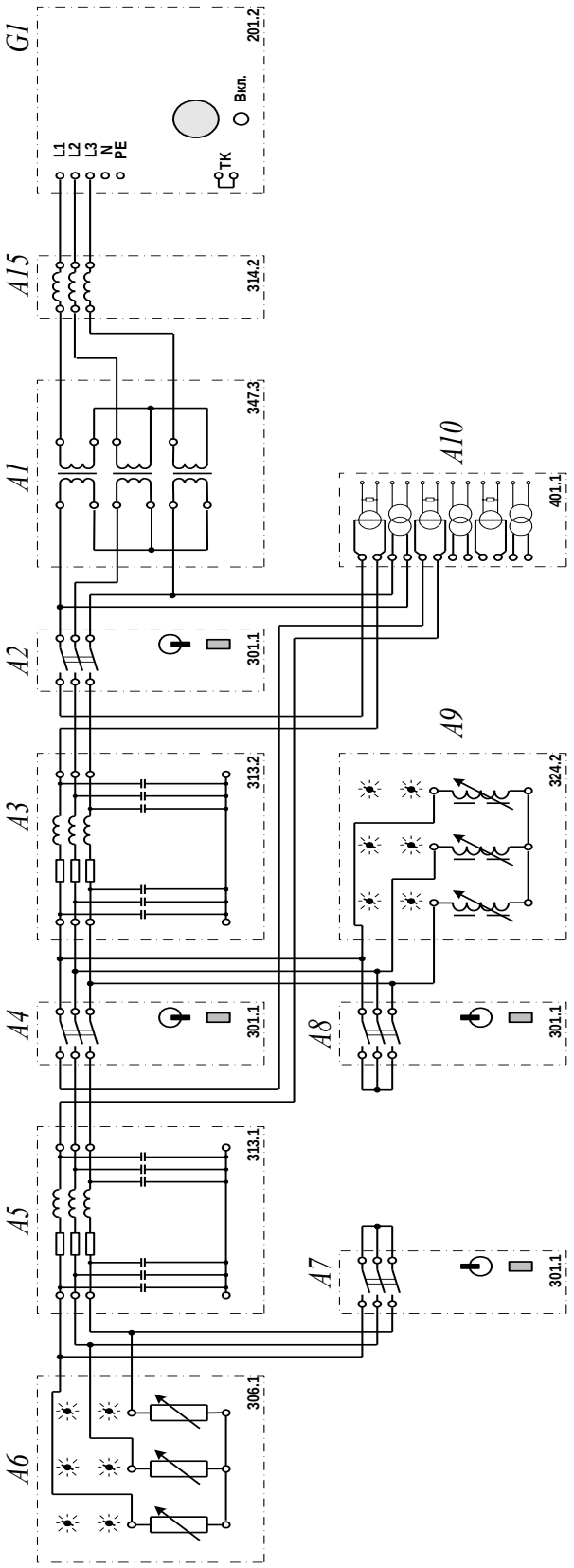
В рамках рассматриваемой работы можно смоделировать, как минимум, 5 различных вариантов (комбинаций) защит:

- **З1 с независимой выдержкой времени без блокировки по напряжению;**
- **З1 с зависимой выдержкой времени без блокировки по напряжению;**
- **З1 с независимой выдержкой времени с блокировкой по напряжению;**
- **З1 и З2 с независимыми выдержками времени без блокировок по напряжению;**
- **З1 или З2 в качестве токовой отсечки без выдержки времени.**

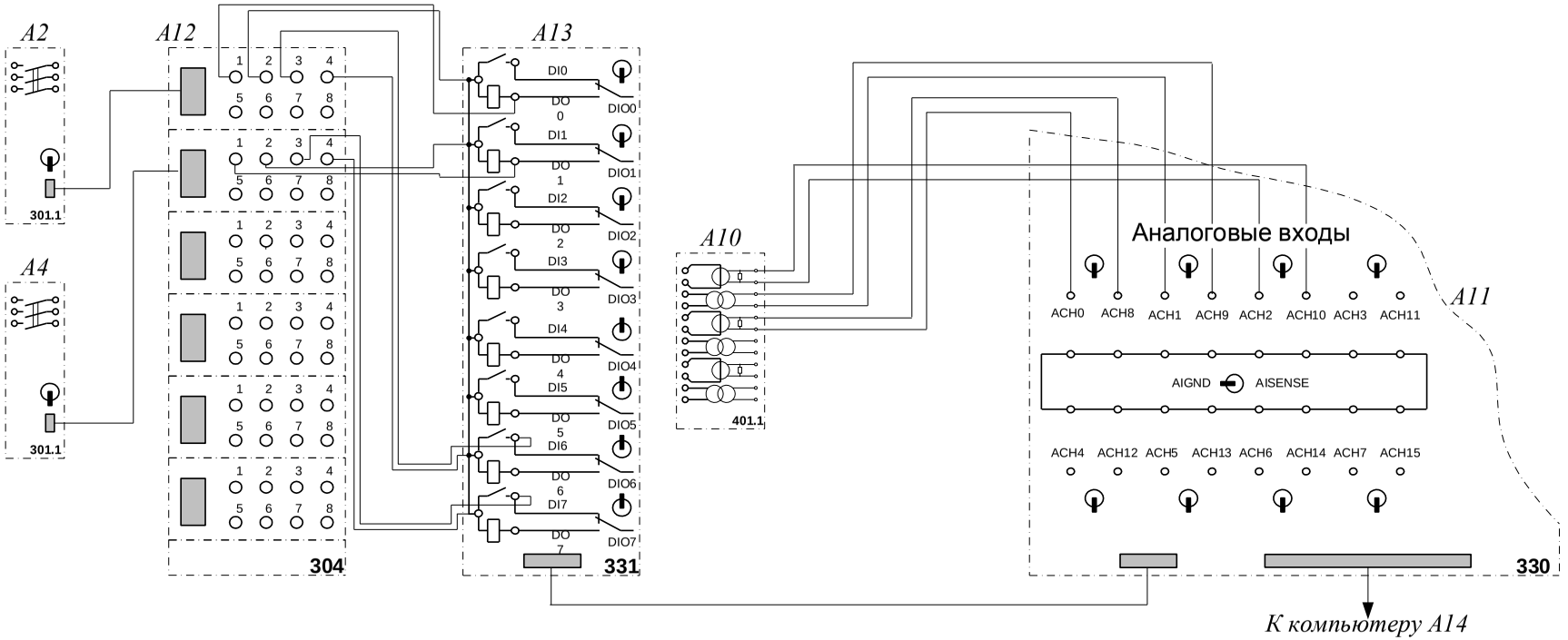
Кроме перечисленных, можно выполнить и другие эксперименты, любым образом комбинируя уставки защит.

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.

Электрическая схема соединений



Электрическая схема соединений (продолжение)



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 х 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A2, A4, A7, A8	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A3, A5	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A6	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A9	Индуктивная нагрузка	324.2	220/380 В; 50Гц; 3×0…40 Вар;
A10	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A11	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A12	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A13	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A14	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, плата сбора информации PCI 6024E
A15	Линейный реактор	314.2	220/380 В; 50 Гц; 0,5 А; 0,3 Гн/10 Ом

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» источника G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей A2 и A4 установите в положение «АВТ.», выключателей A7 и A8 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока A1 выставьте равными, например, 230/230 В. Параметры линии электропередачи A3 переключателями установите, например, следующими: R = 200 Ом, L/R_L=1,2/32 Гн/Ом, C1=C2=0 мкФ; линии электропередачи A5 - следующими: R = 50 Ом, L/R_L=0,3/8 Гн/Ом, C1=C2=0 мкФ. Выберите мощность активной нагрузки A6, например 100% от 50 Вт во всех трех фазах. Выберите мощность индуктивной нагрузки A9, например 50% от 40 Вар во всех трех фазах.

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

Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей A2, A4, A7, A8, блока A13 ввода-вывода цифровых сигналов.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A14, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «МТЗ двух линий.exe».

Смоделируйте требуемый вариант защиты, для чего задайте уставки, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Например, используйте уставки, заданные по умолчанию.

Нажмите на виртуальную кнопку «Начать запись», введите защиты нажатием на соответствующую кнопку и непосредственно после этого смоделируйте короткое замыкание в конце одной из линий, включив выключатели A7 или A8. После отключения защитой «поврежденной» линии остановите запись. Проанализируйте отображенные осциллограммы токов и напряжений линий, а также появившуюся на экране информацию о последовательности произошедших событий.

При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

– Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.

- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Для удобства определения значений величин по графикам в нижней части экрана отображаются текущие координаты указателя мыши.
- Точные значения любых времен следует определять по осциллограмме, а не по протоколу произошедших событий.
- Уставки токов и напряжений следует задавать амплитудными значениями.
- При использовании зависимой от тока характеристики выдержки времени нужно иметь ввиду, что защита срабатывает только если ток схемы становится больше уставки защиты по току.
- Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Его длину можно изменять в пункте меню «Настройки».

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

В рамках рассматриваемой работы можно выполнить, как минимум, 5 экспериментов: МТЗ1 с независимой выдержкой времени без блокировки по напряжению, МТЗ1 с зависимой выдержкой времени без блокировки по напряжению, МТЗ1 с независимой выдержкой времени с блокировкой по напряжению, МТЗ1 и МТЗ2 с независимыми выдержками времени без блокировок по напряжению, токовая отсечка без выдержки времени. Кроме перечисленных, можно выполнить и другие эксперименты, любым образом комбинируя уставки защит.

При использовании сразу двух МТЗ линий целесообразно убедиться в том, что защита линии А3 действительно резервирует защиту линии А5. Для этого нужно смоделировать отказ выключателя А4 (например, включить его и перевести в ручной режим работы), после чего произвести эксперимент, устраивая короткое замыкание в конце линии А5, и убедиться, что срабатывает защита линии А3.

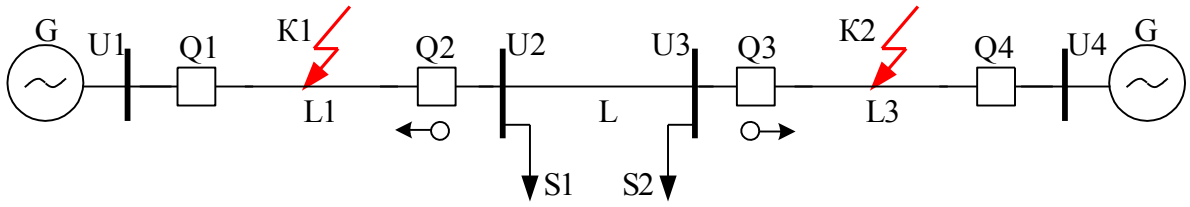
Примеры результатов некоторых опытов приведены в приложении.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №13

Токовая направленная защита линий электропередачи в кольцевой сети

Общие сведения

Защита, действующая только при определенном направлении (знаке) мощности короткого замыкания (КЗ), называется направленной. Необходимость в применении направленных защит возникает в сетях с двусторонним питанием. Защита в этих сетях не только реагирует на появление тока КЗ, но и для обеспечения селективности также учитывает направление мощности КЗ в защищаемой линии (иначе говоря, фазу тока в линии относительно напряжения на шинах).



В сетях с двусторонним питанием (см. рис) и в кольцевых сетях направление тока и мощности КЗ зависит от места возникновения повреждения. Например, при коротком замыкании в точке К2 через защиту на выключателе Q3 проходит ток в направлении от шин подстанции 3 к месту повреждения. При коротком замыкании в точке К1 через эту же защиту проходит ток в противоположном направлении.

Если принять, что в первом случае ток короткого замыкания отстает от напряжения U3 на шинах подстанции 3, а мощность КЗ положительна и направлена от шин в линию, то во втором случае ток КЗ сдвинут на 180^0 относительно тока КЗ в первом случае, а соответствующая этому мощность КЗ отрицательна и направлена из линии к шинам. Таким образом, направление мощности КЗ, проходящей по линии, характеризует, где возникло повреждение: на защищаемой линии или на других присоединениях, отходящих от шин данной подстанции.

Это обстоятельство используется в направленной защите, которая по знаку мощности определяет, на каком присоединении возникло повреждение и действует только при КЗ на защищаемом участке.

Простая токовая защита, не реагирующая на знак мощности, действует как при КЗ на защищаемой линии, так и при повреждениях на других присоединениях, отходящих от шин подстанции, питающей защищаемую линию. Поэтому получить селективное отключение КЗ в сетях с двусторонним питанием с помощью простой токовой защиты, как правило, невозможно.

На основании изложенного можно сформулировать следующие принципы выполнения селективной защиты в сетях с двусторонним питанием:

1. Защита устанавливается с обеих сторон от защищаемой линии и действует при направлении мощности от шин в линию.

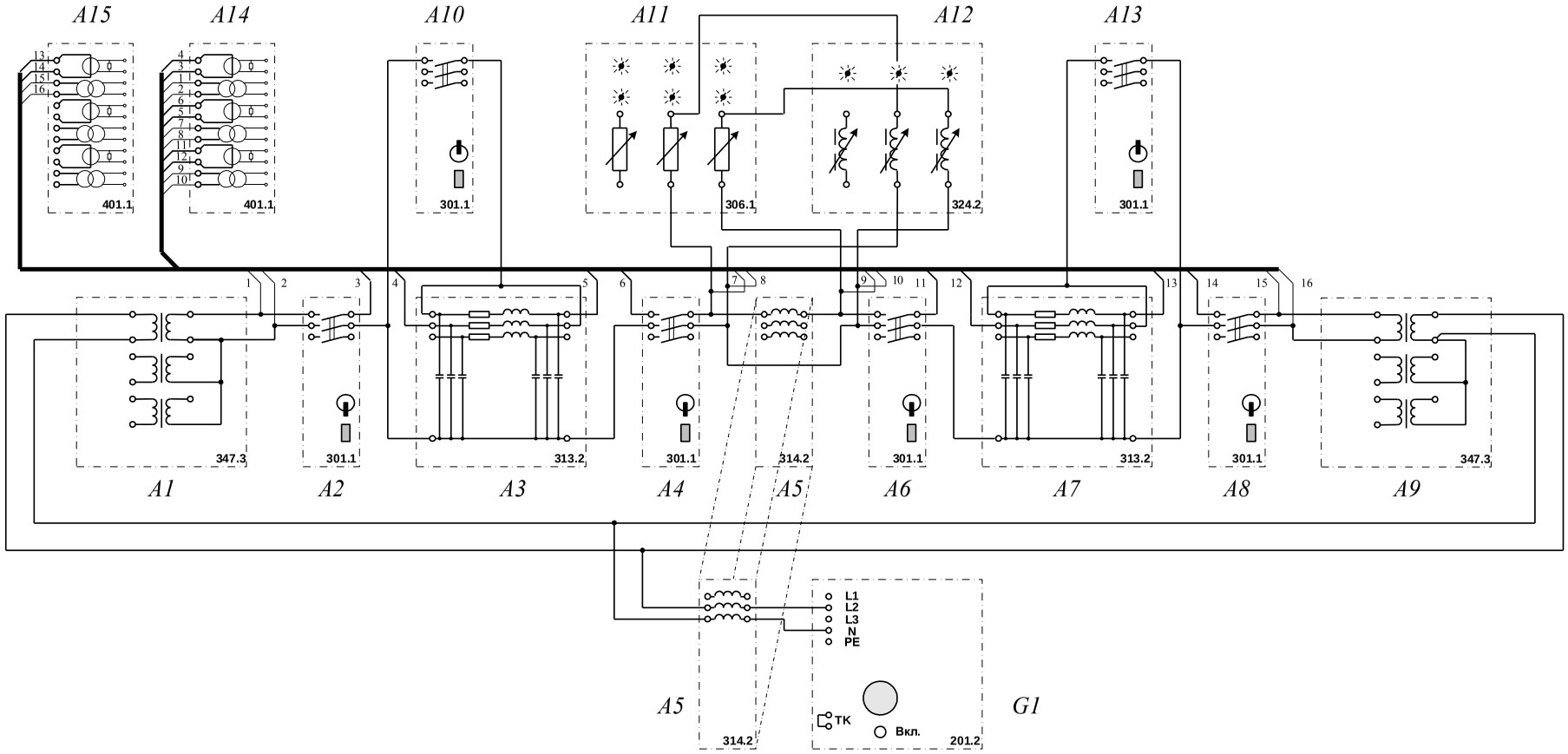
2. Выдержки времени на защитах, работающих при одном направлении мощности, должны быть согласованы между собой по ступенчатому принципу с нарастанием по направлению к источнику питания, от тока которого действуют рассматриваемые защиты.

В данном эксперименте моделируется сеть с двусторонним питанием, состоящая из трех последовательно соединенных линий (см. рис.). К дальним от источников питания шинам линий L1 и L3 подключены нагрузки S1 и S2. Выключатели Q1 и Q2 расположены по концам линии L1, выключатели Q3 и Q4 – по концам линии L3. Точки коротких замыканий К1 и К2 находятся в середине линий L1 и L3 соответственно.

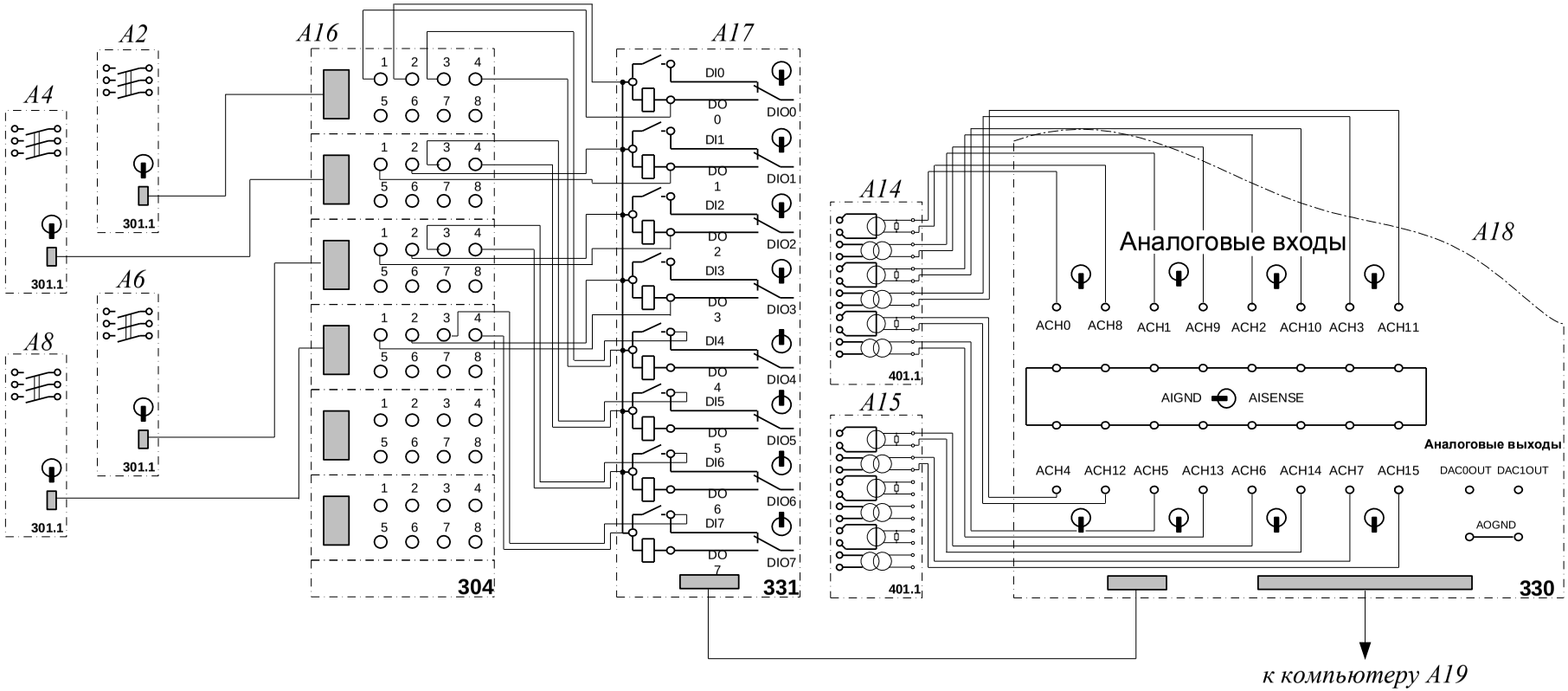
На компьютере с помощью специальной программы моделируются четыре токовые защиты, каждая из которых воздействует на один из выключателей Q1-Q4. Защиты, управляющие выключателями Q2 и Q3, могут иметь орган направления мощности.

Если уставки защит выбраны правильно, то при коротком замыкании отключается только та линия, на которой оно возникло (при КЗ в точке К1 отключаются выключатели Q1 и Q2, при КЗ в точке К2 – Q3 и Q4).

Электрическая схема соединений



Продолжение электрической схемы соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1, A9	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 х 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A2, A4, A6, A8, A10, A13	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A3, A7	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A5	Линейный реактор	314.2	220/380 В; 50 Гц; 0,5 А; 0,3 Гн/10 Ом
A11	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A12	Индуктивная нагрузка	324.2	220/380 В; 50Гц; 3×0…40 Вар;
A14, A15	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A16	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A17	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A18	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A19	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, плата сбора информации PCI 6024E

Описание электрической схемы соединений

Трехфазная трансформаторная группа A1, выключатель A2, модель линии электропередачи A3, выключатель A4, линейный реактор A5, выключатель A6, модель линии электропередачи A7, выключатель A8 и трехфазная трансформаторная группа A9 образуют кольцевую замкнутую электрическую сеть, собранную в однофазном исполнении. В каждой из моделей линии электропередачи A3 и A7 две фазы соединены последовательно для получения возможности моделирования короткого замыкания в середине каждой из таким образом полученных линий. Сеть питается от источника G1, подключенного через две катушки токоограничивающего линейного реактора A5. К третьей катушке реактора A5, имитирующей еще одну линию электропередач, с обеих сторон подключены активно-индуктивные нагрузки A11, A12.
Выключатели A10 и A13 включены как короткозамыкатели, в середине линий A3 и A7 соответственно.
К каждому из выключателей A2, A4, A6, A8 с противоположной от соответствующих линий стороны подключены трансформаторы напряжения блоков A14, A15 измерительных трансформаторов тока и напряжения. В разрывы между вышеупомянутыми выключателями и соответствующими линиями электропередачи включены трансформаторы напряжения блоков измерительных трансформаторов тока и напряжения A15, A16.
Вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения блоков A14, A15 подключены к аналоговым входам коннектора A18, соединенного гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера A19.
Розетки «УПР.» трехполюсных выключателей A2, A4, A6, A8 гибкими кабелями подключены к розеткам терминала A18, гнезда которого соединены с гнездами блока A17 ввода-вывода цифровых сигналов согласно электрической схеме соединений.

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» источника G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений, обращая особое внимание на полярность включения в схему измерительных трансформаторов тока и напряжения, а также полярность вторичных сигналов с них.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей A2, A4, A6, A8 установите в положение «АВТ.», выключателей A10 и A13 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов

блоков А1 и А9 выставьте равными, например, 230/230 В. Параметры линий электропередачи А3 и А7 переключателями установите, например, следующими: R = 200 Ом, L/R_L=1,2/32 Гн/Ом, С1=С2=0 мкФ. Выберите мощность активной нагрузки А11, например 20% от 50 Вт в используемых фазах. Выберите мощность индуктивной нагрузки А9, например 40% от 40 Вар в используемых фазах.

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

Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей А2, А4, А6, А8, А10, А13 блока А17 ввода-вывода цифровых сигналов.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А12, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «Направленная защита.exe».

Смоделируйте требуемый вариант защиты, для чего задайте уставки, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Например, используйте уставки, заданные по умолчанию.

Нажмите на виртуальную кнопку «Начать запись»; введите защиты нажатием на соответствующую кнопку и непосредственно после этого смоделируйте короткое замыкание на одной из линий, включив выключатель А10 или А13. После отключения защитой «поврежденной» линии выведите защиты и остановите запись. Проанализируйте отображенные осциллограммы токов и напряжений линий, состояние выключателей, а также информацию о последовательности произошедших событий в журнале работы защит, вызывать который можно нажатием на соответствующую кнопку.

При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Для удобства определения значений величин по графикам на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
- На экране также отображается состояние выключателей А2, А4, А6, А8.
- В случае срабатывания той или иной защиты на соответствующей осциллограмме появляется информирующая об этом надпись.
- Точные значения любых времен следует определять по осциллограмме, а не по журналу работы защит.
- Уставки токов и напряжений следует задавать амплитудными значениями.

– При возникновении неправдоподобных результатов эксперимент следует повторить.
– Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Его длину можно изменять в пункте меню «Настройки».

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков A2, A4, A6, A8, A10, A13, A17.

Пример результатов описанного опыта приведен в приложении.

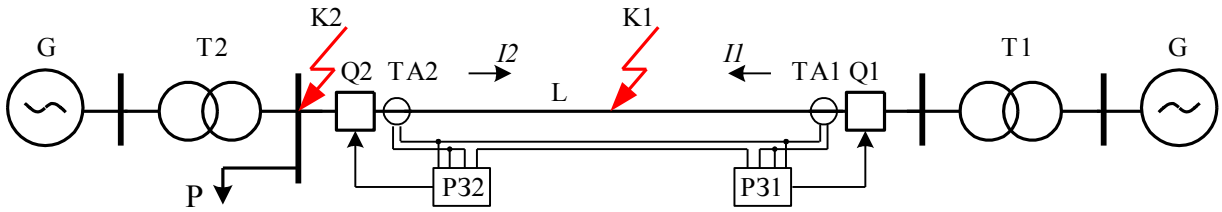
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14

Продольная дифференциальная защита линии электропередачи

Общие сведения

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. Первые служат для защиты как одноцепных, так и параллельных (двухцепных) линий, вторые – только двухцепных линий.

Принцип действия продольных дифференциальных защит основан на сравнении величины и фазы токов в начале и конце защищаемой линии.



Как видно из вышеприведенного рисунка, при внешнем коротком замыкании в точке К2 токи I1 и I2 по концам защищаемой линии направлены в одну сторону и равны по величине, а при КЗ на защищаемой линии (в точке К1) они направлены в разные стороны и, как правило, не равны друг другу. Следовательно, сопоставляя величину и фазу токов I1 и I2, можно определить, где возникло КЗ – на линии или за ее пределами. Такое сравнение токов по величине и фазе осуществляется в реагирующем органе дифференциальной защиты.

Для реализации защиты по концам линии устанавливают трансформаторы тока ТА1 и ТА2 с одинаковым коэффициентом

трансформации. Их вторичные обмотки соединяют и подключают к дифференциальному реле (РЗ1, РЗ2) таким образом, чтобы при внешних КЗ в точке К2 ток в реле был равен разности токов в начале и конце линии, а при КЗ на линии в точке К1 – их сумме.

Токи небаланса в дифференциальных защитах линий при сквозных КЗ могут достигать значительных величин. Значение токов небаланса может обуславливаться большими кратностями токов внешнего КЗ, неодинаковостью трансформаторов тока по концам линии, их значительной загрузкой и другими причинами.

Для отстройки от токов небаланса получили распространение дифференциальные реле с торможением. Ток срабатывания у таких реле возрастает с увеличением тока внешнего КЗ.

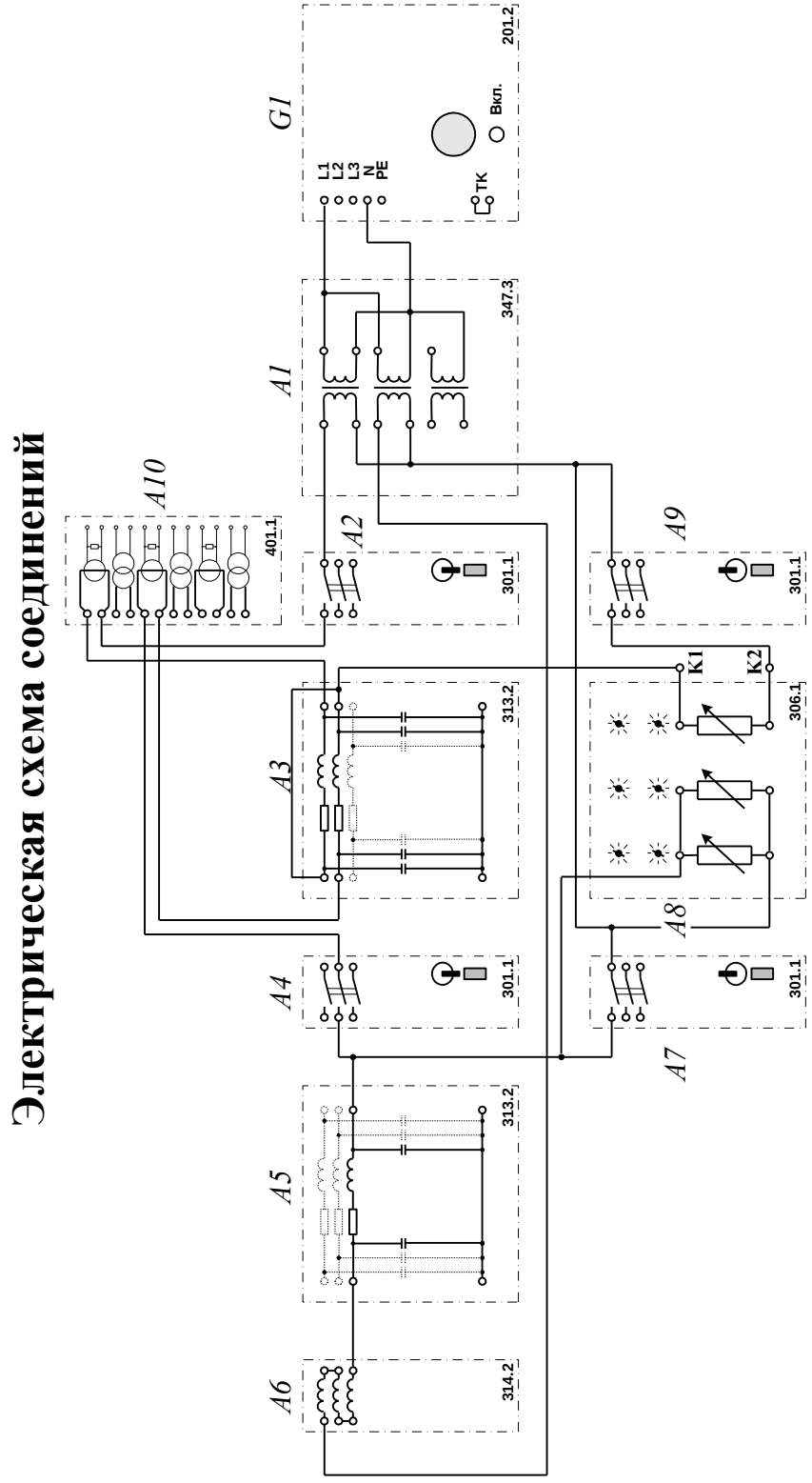
В данном эксперименте моделируется линия электропередачи с двусторонним питанием, по концам которой установлены выключатели и трансформаторы тока (см. рис). Имеется возможность устраивать короткие замыкания на защищаемой линии и вне ее. На защищаемой линии можно устраивать металлические КЗ и КЗ через дополнительное сопротивление, имитирующее дугу.

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.

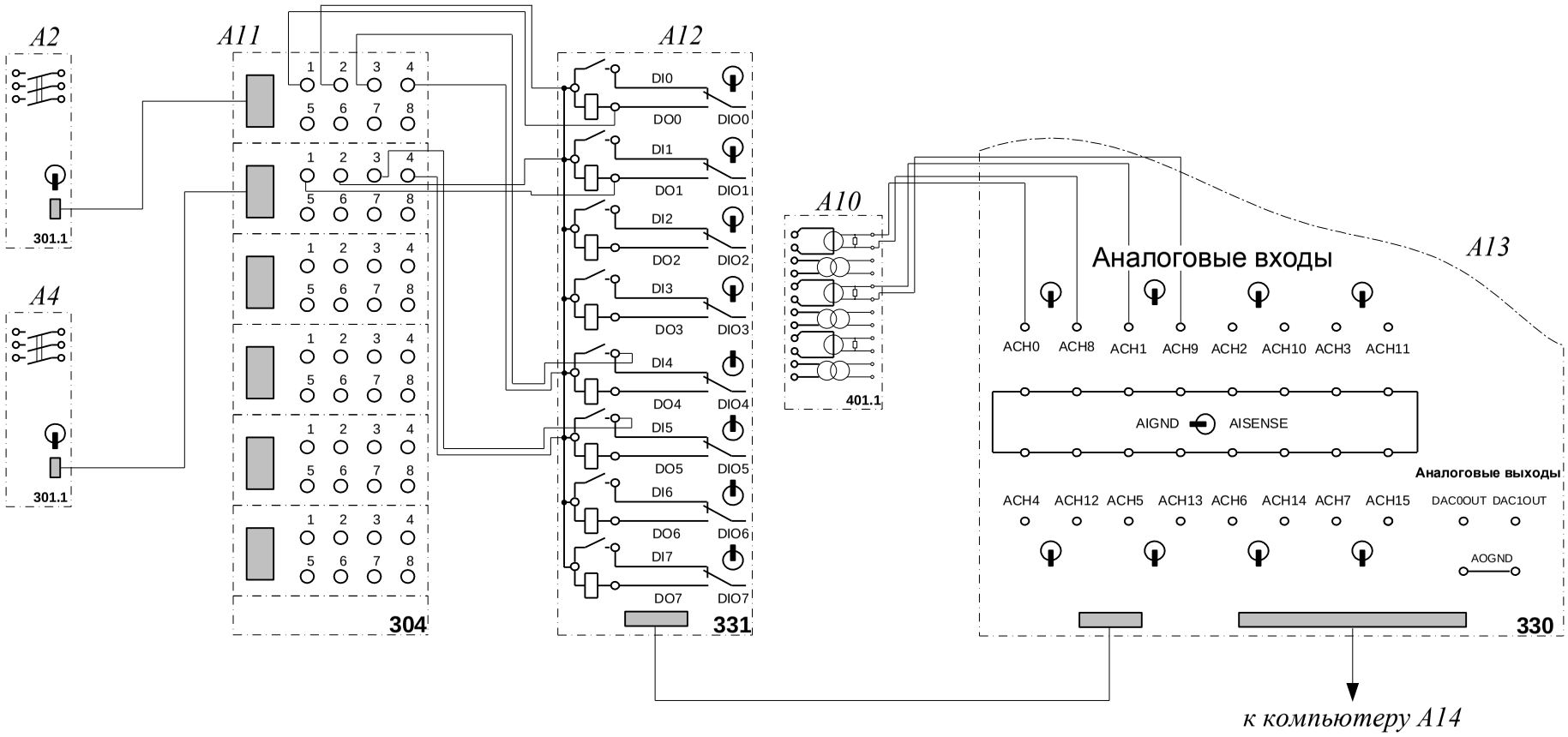
В правильно собранной схеме защита без торможения должна срабатывать при КЗ на линии (точка К1) и не должна срабатывать при КЗ за ее пределами (точка К2).

Возможно также убедиться в том, что в случае КЗ через дугу дифференциальная защита без торможения не способна работать селективно ни при каких значениях уставок (справедливо при определенном значении погрешности трансформаторов тока; подробнее

см. приложение). Ввод в работу торможения позволяет создать селективную дифференциальную защиту.



Продолжение электрической схемы соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 х 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A2, A4, A7, A9	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A3, A5	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A6	Линейный реактор	314.2	220/380 В; 50 Гц; 0,3 А; 0,5 Гн/10 Ом
A8	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A10	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A11	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A12	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A13	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A14	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, плата сбора информации PCI 6024E

Описание электрической схемы соединений

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 А6 с последовательно соединенными фазами и она фаза модели линии электропередачи А5. Активная нагрузка, образованная двумя параллельно соединенными фазами блока А8 активной нагрузки, подключена к сети около одного из концов линии электропередачи.
Выключатель А7 включен параллельно активной нагрузке как короткозамыкатель. Выключатель А9 подключен к середине защищаемой линии как короткозамыкатель через токоограничивающий резистор, имитирующий, например, короткое замыкание через дугу. В качестве токоограничивающего резистора использована третья фаза блока А8 активной нагрузки.
В разрыв цепей выключателей А2 и А4 включены трансформаторы тока блока А10 измерительных трансформаторов тока и напряжения. Вторичные обмотки трансформаторов тока блока А10 подключены к аналоговым входам коннектора А13, 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.

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» источника G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей А2 и А4 установите в положение «АВТ.», выключателей А8 и А9 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока А1 выставьте равными, например, 133/230 В. Параметры линий электропередач А3 и А5 переключателями установите, например, следующими: R = 150 Ом, L/R_L=0,9/24 Гн/Ом, C1=C2=0 мкФ. Выберите мощность активной нагрузки А6, например 100% от 50 Вт в фазах, используемых как активная нагрузка и 40% от 50 Вт в третьей фазе.

Смоделируйте металлическое короткое замыкание в середине линии. Для этого соедините клеммы К1 и К2 между собой.

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

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

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А14, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «Продольная дифзащита.exe».

Задайте уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Например, используйте уставки, заданные по умолчанию.

Нажмите на виртуальную кнопку «Начать запись», введите защиту нажатием на соответствующую кнопку. Смоделируйте короткое замыкание в зоне действия защиты, включив выключатель А9. После отключения защитой «поврежденной» линии проанализируйте отображенные осциллограммы токов.

Проделайте эксперимент еще раз, моделируя короткое замыкание вне зоны действия защиты с помощью выключателя А7. Проанализируйте полученные осциллограммы токов.

Отключите источник G1, разомкните клеммы К1 и К2, сымитировав тем самым короткое замыкание через дугу.

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

Введите торможение (в окне задания уставок защиты). Проделав эксперименты, убедитесь, что защита теперь работает правильно.

При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Для удобства определения значений величин по графикам на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
- На экране также отображается состояние выключателей А2 и А4.
- Точные значения любых времен следует определять по осциллограмме, а не по журналу работы защит.
- Уставки токов следует задавать амплитудными значениями.
- При возникновении неправдоподобных результатов эксперимент следует повторить.
- Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Параметры буфера, а именно его полную длину и длину «эпилога» (фактически – время записи после свершения интересующего события, в данном случае – срабатывания сигнализации) можно изменять в пункте меню «Настройки».

- Задать погрешность трансформаторов тока можно в пункте меню «Настройки -> Погрешность трансформаторов тока».
- Дифференциальная защита является защитой мгновенного действия. Тем не менее, среди уставок защиты присутствует и уставка выдерки времени, необходимая, во-первых, для повышения наглядности результатов экспериментов, и, во-вторых, для отстройки защиты от коммутационных помех.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков A2, A4, A7, A9, A12.

Пример результатов описанных опытов приведен в приложении.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №15

Поперечная дифференциальная защита параллельных линий электропередачи

Общие сведения

На линиях, отходящих от шин электростанций или узловых подстанций энергосистем, часто по условиям устойчивости требуется обеспечить отключение короткого замыкания (КЗ) в пределах всей защищаемой линии без выдержки времени. К защитам, способным удовлетворить это условие, относятся дифференциальные защиты. Они обеспечивают мгновенное отключение КЗ в любой точке защищаемой лини и обладают селективностью при КЗ за пределами этой линии. Дифференциальные защиты подразделяются на продольные и поперечные. Первые служат для защиты как одноцепных, так и двухцепных (параллельных) линий, вторые – только двухцепных линий.

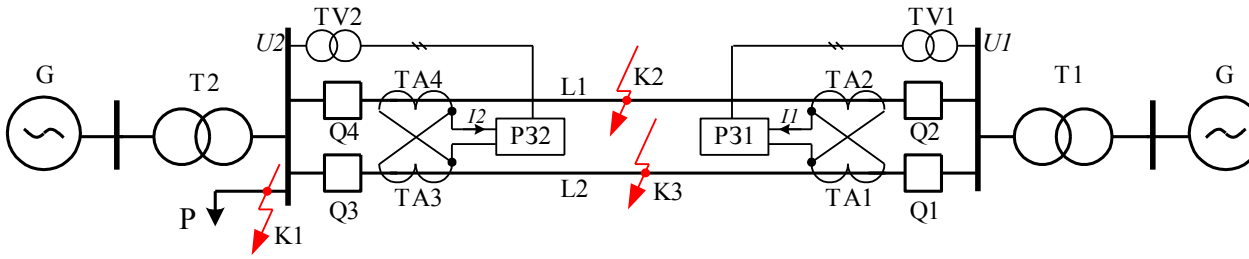
Токовая поперечная дифференциальная защита предназначается для параллельных линий с общим выключателем на обе линии. При одностороннем питании параллельных линий защита устанавливается только со стороны источника питания, а в сети с двусторонним питанием – с обеих сторон параллельных линий.

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.



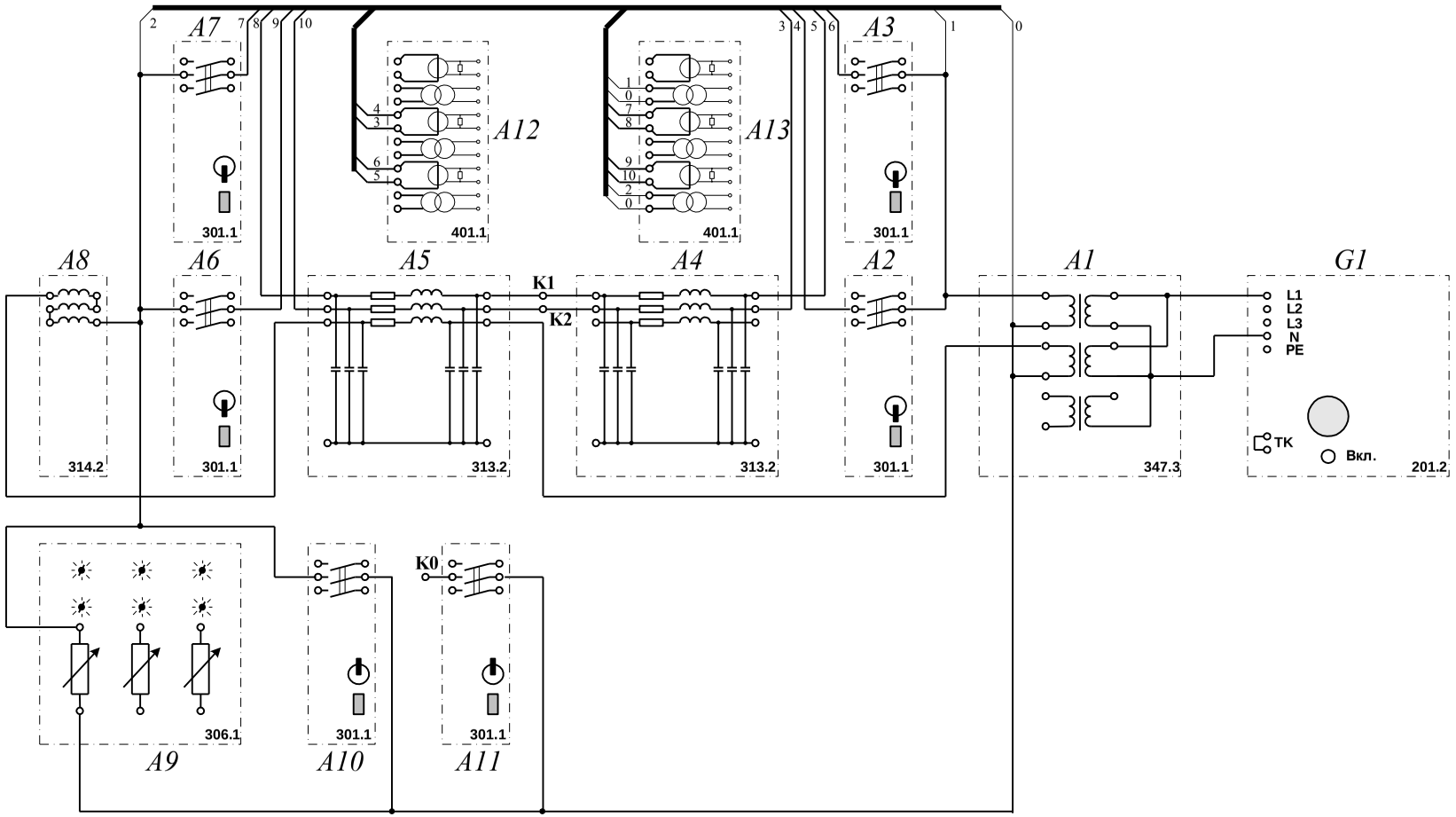
В рассматриваемом эксперименте моделируются две параллельные линии электропередачи L1 и L2 с двусторонним питанием (см. рис). По концам каждой из них имеются выключатели Q1-Q4 и трансформаторы тока TA1-TA4. К шинам, питающим линии, подключены трансформаторы напряжения TV1 и TV2. От шин подстанции 2 получает питание нагрузка P.

Короткие замыкания устраиваются на обеих линиях электропередачи (в точках К2, К3), а также на питающих их шинах вне зоны действия защиты (в точке К1).

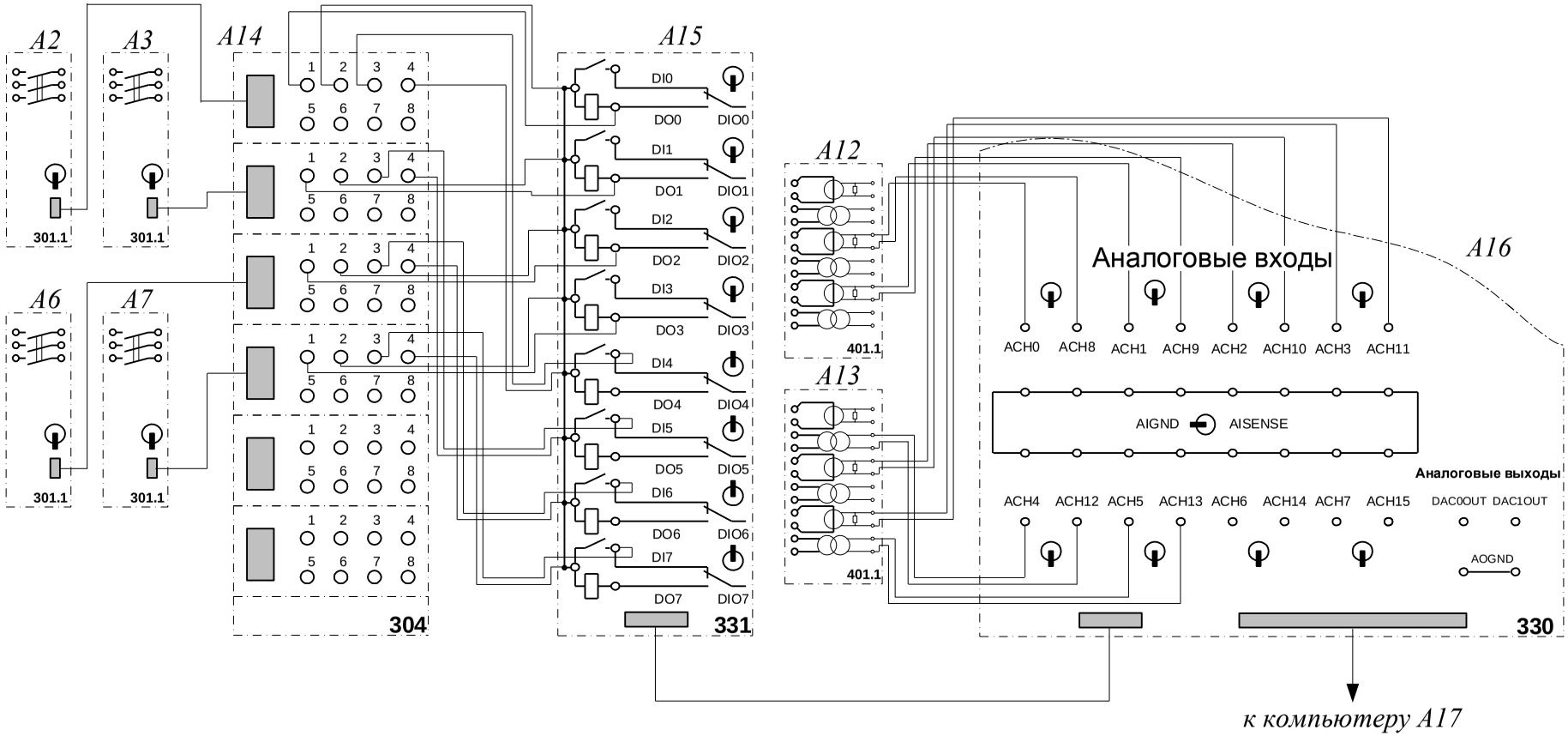
На компьютере с помощью специальной программы моделируются дифференциальные защиты, установленные с обеих сторон линий L1 и L2. Каждая из защит может быть ненаправленная – в таком случае она воздействует на оба выключателя вместе, или направленная – тогда защита определяет, где именно возникло повреждение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

В рамках описываемого опыта при правильно собранной схеме и определенных параметрах ее элементов можно определить мертвую зону защиты и зону каскадного действия защит (подробнее см. в указаниях по проведению эксперимента).

Электрическая схема соединений



Продолжение электрической схемы соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 х 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A2, A3, A6, A7, A10, A11	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A4, A5	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A8	Линейный реактор	314.2	220/380 В; 50 Гц; 0,3 А; 0,5 Гн/10 Ом
A9	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A12, A13	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A14	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A15	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A16	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A17	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, Windows 9*, монитор, мышь, клавиатура, плата сбора информации PCI 6024E

Описание электрической схемы соединений

Электрическая схема соединений представляет собой замкнутую кольцевую сеть, 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.

От кольцевой сети получает питание активная нагрузка, образованная одной фазой блока A9. Реактор A8 с последовательно соединенными фазами, а также третья фаза модели линии A5 служат для ограничения токов короткого замыкания в схеме.

Выключатель A10 включен параллельно активной нагрузке как короткозамыкатель. Выключатель A11 путем соединения клемм K0 и K1 или K0 и K2 может также включаться как короткозамыкатель, моделируя замыкание на одной из параллельных защищаемых линий.

В разрыв цепей выключателей A2, A3, A6 и A7 включены трансформаторы тока блоков A12, A13 измерительных трансформаторов тока и напряжения. К шинам защищаемых линий присоединены трансформаторы напряжения блока A13.

Вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения блоков A12, A13 подключены к аналоговым входам коннектора A16, соединенного гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера A17. Розетки «УПР.» трехполюсных выключателей A2, A3, A6, A7 гибкими кабелями подключены к розеткам терминала A14, гнезда которого соединены с гнездами блока A15 ввода-вывода цифровых сигналов согласно электрической схеме соединений.

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» источника G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей A2, A3, A6, A7 установите в положение «АВТ.», выключателей A10 и A11 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока A1 выставьте равными, например, 133/230 В. Параметры линий электропередачи A3 и A5 переключателями установите, например, следующими: R = 150 Ом, L/R_L=0,9/24 Гн/Ом, C1=C2=0 мкФ. Выберите

мощность активной нагрузки А9, например 100% от 50 Вт в используемой фазе.

Смоделируйте короткое замыкание на одной из защищаемых линий. Например, для замыкания на первой (верхней по рисунку) линии соедините гнезда К0 и К1 между собой.

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

Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей А2, А3, А6, А7, А10, А11 а также блока А15 ввода-вывода цифровых сигналов.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А17, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «Поперечная дифзащита.exe».

Задайте уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Например, используйте уставки, заданные по умолчанию.

Нажмите на виртуальную кнопку «Начать запись», введите защиту нажатием на соответствующую кнопку. Смоделируйте короткое замыкание в зоне действия защиты, включив выключатель А11. После отключения защитой «поврежденной» линии проанализируйте осциллограммы токов и напряжений.

Проделайте эксперимент еще раз, моделируя короткое замыкание вне зоны действия защиты с помощью выключателя А10. Проанализируйте полученные осциллограммы токов и напряжений.

Используя окно задания уставок, смоделируйте направленные дифференциальные защиты. Повторите эксперимент. Убедитесь в том, что отключается лишь та линия, на которой произошло «повреждение».

Установите параметры линии А5 следующими: R = 50 Ом, L/R_L=0,3/8 Гн/Ом. Повторите 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.

При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Для удобства определения значений величин по графикам на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
- На экране также отображается состояние выключателей А2, А3, А6, А7.

- Точные значения любых времен следует определять по осциллограмме, а не по журналу работы защит.
- Уставки токов следует задавать амплитудными значениями.
- При возникновении неправдоподобных результатов эксперимент следует повторить.
- Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Параметры буфера, а именно его полную длину и длину «эпилога» (фактически – время записи после свершения интересующего события, в данном случае – срабатывания защиты) можно изменять в пункте меню «Настройки». Например, если срабатывание защиты ожидается через 0,5 секунды после начала короткого замыкания, то для того, чтобы увидеть предаварийный режим, режим короткого замыкания и режим после отключения повреждения длину буфера в целом можно принять равной 2-м секундам, а длину эпилога (по сути, это длина записи режима после отключения КЗ) – 0,5–1 секунде.
- Дифференциальная защита является защитой мгновенного действия. Тем не менее, среди уставок защиты присутствует и уставка выдержки времени, необходимая, во-первых, для повышения наглядности результатов экспериментов, во-вторых, для отстройки защиты от коммутационных помех и в-третьих – для гарантированно правильного определения защитой направления мощности.

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

Пример результатов описанных опытов приведен в приложении.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №16

Дистанционная защита линий электропередачи в сети с двусторонним питанием

Общие сведения

В сетях сложной конфигурации с несколькими источниками питания максимальные и направленные защиты не могут обеспечить селективного отключения короткого замыкания (КЗ). Токовые отсечки не всегда применимы, а продольные дифференциальные защиты могут устанавливаться только на коротких линиях.

В связи с этим возникает необходимость в применении других принципов, позволяющих получить защиты с необходимым быстродействием, обеспечивающие селективность и чувствительность в электрических сетях любой конфигурации. Одной из таких защит является дистанционная защита.

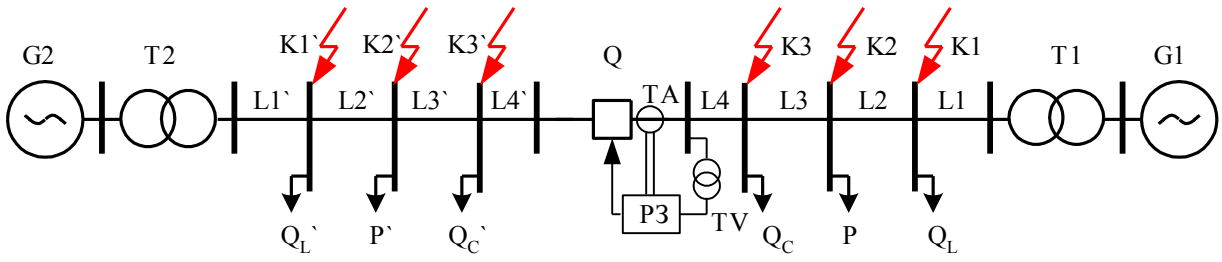
Выдержка времени дистанционной защиты зависит от расстояния (дистанции) между местом установки защиты и точкой КЗ, и нарастает плавно или ступенчато с увеличением этого расстояния. При таком принципе действия ближайшая к месту повреждения дистанционная защита всегда имеет меньшую выдержку времени, чем более удаленные защиты, благодаря этому автоматически обеспечивается селективное отключение поврежденного участка.

Основным элементом дистанционной защиты является дистанционный орган, определяющих удаленность КЗ от места установки защиты. В качестве дистанционного органа используется реле сопротивления, непосредственно или косвенно реагирующее на полное, активное или индуктивное сопротивление линии.

Первоначально дистанционная защита выполнялась с помощью реле сопротивления, реагирующих только на абсолютную величину сопротивления до точки КЗ. По мере увеличения протяженности линий электропередачи и роста передаваемой по ним нагрузки абсолютные значения сопротивлений при КЗ в конце линий стали соизмеримы с

сопротивлениями при аварийной нагрузке на линиях электропередачи. В таких условиях реле сопротивления, реагирующие на абсолютные значения сопротивления, уже не могли точно отличить КЗ от нагрузки. В связи с этим дистанционные защиты выполняют реагирующими не только на абсолютную величину сопротивления, но и на величину угла $\varphi = \arctan\frac{x}{r}$ (здесь x и r – соответственно реактивное и активное сопротивления от точки КЗ до места установки защиты), т.к. при КЗ и при передаче больших потоков мощности углы сопротивлений различаются. Для этой цели были разработаны реле сопротивления, у которых сопротивление срабатывания реле $Z = f(z, \varphi)$. Такая зависимость называется характеристикой срабатывания реле.

Сопротивление Z является комплексной величиной, поэтому характеристики срабатывания реле изображают на комплексной плоскости в осях r, x. В этой системе координат характеристика срабатывания реле является пограничной кривой, определяющей условия действия реле. Наиболее распространены характеристики реле в виде окружности (ненаправленное или направленное реле полного сопротивления и реле со смещенной круговой характеристикой), эллипса, прямой линии (реле реактивного сопротивления), многоугольника.



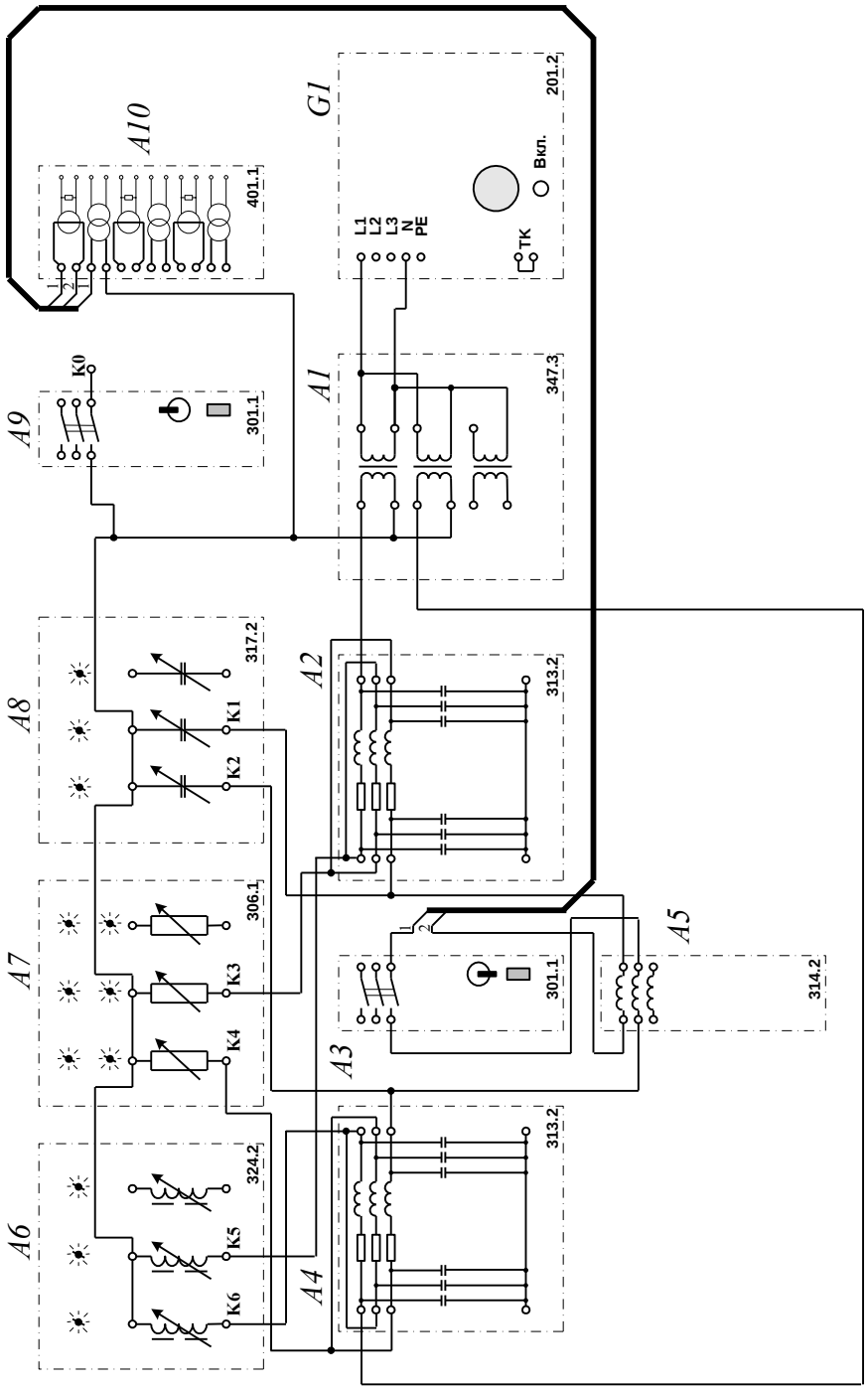
В данном эксперименте моделируются восемь последовательно соединенных линий электропередачи (L1-L4, L1`-L4`), питающихся с двух сторон от двух источников G1, G2 (см. рис.). К шинам этих линий подсоединены различные электрические нагрузки (P, Q_L, Q_C, P`, $Q_L$`, Q_C`). Выключатель Q включен между линиями L4 и L4`.

Существует возможность устраивать короткие замыкания в шести точках схемы (K1, K2, K3, K1`, K2`, K3`) на разных расстояниях и с разных сторон от выключателя Q.

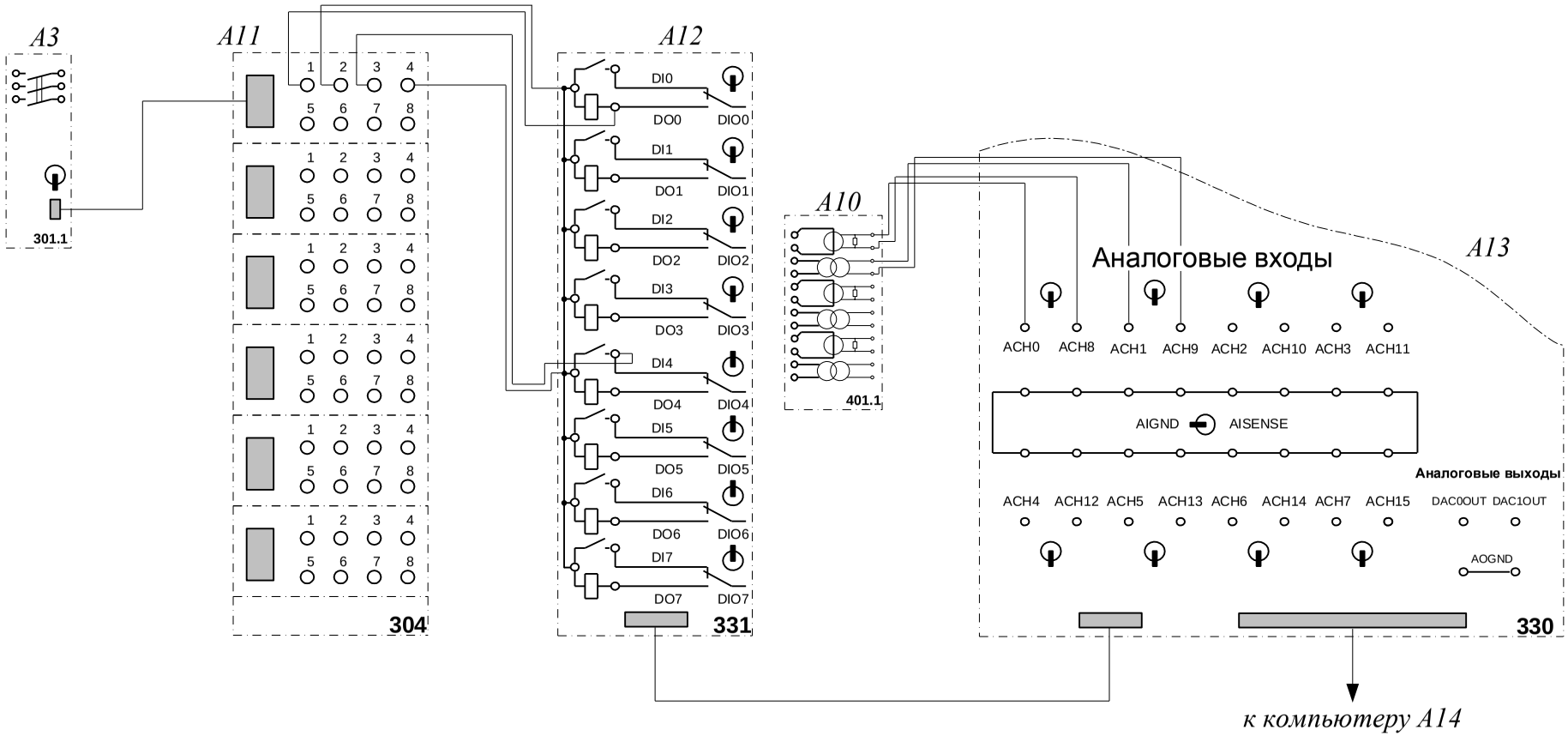
С помощью измерительных трансформаторов фиксируется ток и напряжение вблизи выключателя Q.

На персональном компьютере посредством специальной программы моделируется дистанционная защита РЗ, воздействующая на выключатель Q. Защита может иметь от одной до трех ступеней с различными выдержками времени и различными характеристиками срабатывания реле. Также программа может работать в режиме осциллографа. При этом защита на выключатель не воздействует, но имеется возможность посмотреть ток, напряжение и положение вектора комплексного сопротивления относительно графиков зон срабатывания защиты в реальном времени.

Электрическая схема соединений



Продолжение электрической схемы соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 х 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A2, A4	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A3, A9	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A5	Линейный реактор	314.2	220/380 В; 50 Гц; 0,3 А; 0,5 Гн/10 Ом
A6	Индуктивная нагрузка	324.2	220/380 В; 50Гц; 3×0…40 Вар;
A7	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A8	Емкостная нагрузка	317.2	220/380 В; 50Гц; 3×0…40 Вар;
A10	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A11	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A12	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A13	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A14	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, плата сбора информации PCI 6024E

Описание электрической схемы соединений

Электрическая схема соединений представляет собой замкнутую кольцевую сеть, собранную в однофазном исполнении и образованную двумя

последовательно соединенными моделями линий электропередачи А2 и А4, фазы каждой из которых в свою очередь также соединены последовательно. Кроме того, в кольцевую сеть включены две фазы линейного реактора А5 и выключатель А3, являющийся исполнительным органом моделируемой дистанционной защиты. Сеть получает питание от трехфазного источника G1 через два однофазных трансформатора блока А1.

От кольцевой сети питаются две активных, индуктивных и емкостных нагрузки, включенные на разных расстояниях и с разных сторон от моделируемой дистанционной защиты. Нагрузки представлены отдельными фазами блоков активной (А7), индуктивной (А6) и емкостной (А8) нагрузок соответственно.

С помощью выключателя А9, который может быть включен между «нулем» схемы и любой из точек К1-К6, моделируются короткие замыкания на различном расстоянии и с разных сторон от выключателя А3. Причем, соединяя точки К0-К1, К0-К3, К0-К5, можно моделировать замыкания «впереди защиты», в то время как замыкание точек К0-К2, К0-К4, К0-К6 имитирует короткие замыкания «за ее спиной».

Ток и напряжение вблизи выключателя А3 фиксируются с помощью включенных в схему измерительных трансформаторов тока и напряжения блока А10.

Вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения блока А10 подключены к аналоговым входам коннектора А13, соединенного гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024E персонального компьютера А14. Розетка «УПР.» трехполюсного выключателя А3 гибким кабелем подключена к розетке терминала А11, гнезда которого соединены с гнездами блока А12 ввода-вывода цифровых сигналов согласно электрической схеме соединений.

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» источника G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатель режима работы трехполюсного выключателя А3 установите в положение «АВТ.», выключателя А9 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока А1 выставьте равными, например, 230/230 В. Параметры линий электропередач А2 и А4 переключателями установите, например, следующими: R = 100 Ом, L/R_L=1,2/32 Гн/Ом, С1=С2=0 мкФ.

Выберите мощность активной нагрузки А7, например 10% от 50 Вт в первой фазе, 100% - во второй.

Выберите мощность индуктивной нагрузки А6, например 20% от 40 Вар в первой фазе, 80% - во второй.

Выберите мощность емкостной нагрузки А8, например 20% от 40 Вар в первой фазе, 20% - во второй.

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

Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей А3, А9 а также блока А12 ввода-вывода цифровых сигналов.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А14, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «Дистанционная защита.exe».

Используя главное меню, выберите режим работы программы «Осциллограф». В этом режиме релейная защита на выключатель не воздействует, зато имеется возможность в реальном времени посмотреть ток, напряжение и вектор сопротивления дистанционной защиты. Произвольным образом изменяйте величины нагрузок сети и наблюдайте изменение длины и фазы вектора комплексного сопротивления. Некоторые примеры значений нагрузок и получающиеся при их использовании картинки на экране приведены в приложении.

Задайте характеристики защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Например, используйте характеристики, заданные по умолчанию.

Установите первоначальные значения всех нагрузок схемы.

Смоделируйте короткое замыкание. Например, соедините точки К0 и К1 между собой и включите выключатель А9. Аналогичным образом имитируйте другие короткие замыкания, соединяя точки К1-К6 с точкой К0. Обратите внимание на изменение вектора комплексного сопротивления, а также на то, в какую область срабатывания при каком коротком замыкании попадает вышеупомянутый вектор. Для точного определения факта попадания вектора в ту или иную область ориентируйтесь на круглые индикаторы в правом нижнем углу экрана.

Выберите режим работы программы «Защита».

Нажмите на виртуальную кнопку «Начать запись», введите защиту нажатием на соответствующую кнопку. Смоделируйте одно из вышеописанных шести коротких замыканий. После отключения защитой «повреждения» проанализируйте осциллограммы токов и напряжений, а также положение вектора сопротивления в различные моменты времени. Некоторые примеры получающихся картинок с экрана приведены в приложении.

При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

– Масштабирование осциллограммы токов и напряжений производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.

– Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
– Для удобства определения значений величин по графикам на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
– Масштабировать векторные диаграммы, а также графики зон срабатывания защит в окне задания уставок можно путем нажатия на соответствующие кнопки в правом нижнем углу графика.
– На экране также отображается состояние выключателя А3.
– В режиме работы «Осциллограф» выключатель А3 можно включить, нажав на соответствующую виртуальную кнопку (после нажатия кнопка исчезнет).
– В режиме «Защита» после срабатывания защиты можно посмотреть вектор сопротивления в любой момент времени. Для этого необходимо щелкнуть по интересующему моменту времени на графике осциллограмм тока и напряжения, одновременно удерживая нажатой клавишу «Shift».
– Точные значения любых времен следует определять по осциллограмме, а не по журналу работы защит.
– Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Параметры буфера, а именно его полную длину и длину «эпилога» (фактически – время записи после свершения интересующего события, в данном случае – срабатывания защиты) можно изменять в пункте меню «Настройки». Например, если срабатывание защиты ожидается через 2 секунды после начала короткого замыкания, то для того, чтобы увидеть предаварийный режим, режим короткого замыкания и режим после отключения повреждения длину буфера в целом можно принять равной 5-и секундам, а длину эпилога (по сути, это длина записи режима после отключения КЗ) – 0,5–1 секунде.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А3, А9, А12.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №17

Дифференциальная защита трансформатора

Общие сведения

Для защиты трансформаторов от коротких замыканий (КЗ) между фазами, на землю и от замыканий витков одной фазы широкое распространение получила дифференциальная защита. Принцип действия дифференциальной защиты трансформаторов, также как и дифференциальной защиты линий и шин, основан ан сравнении величины и направления токов до и после защищаемого элемента (в данном случае 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.

В дифференциальной защите линий первичные токи в начала и в конце защищаемого участка одинаковы, поэтому для выполнения условия селективности достаточно иметь равенство коэффициентов трансформации трансформаторов тока. Иное положение имеет место в дифференциальной защите трансформаторов. Первичные токи обмоток трансформатора не равны по величине и в общем случае не совпадают по фазе.

В трансформаторе с соединением обмоток звезда-треугольник первичные и вторичные токи отличаются по величине и фазе. В

трансформаторе с соединением обмоток звезда-звезда токи различаются только по величине.

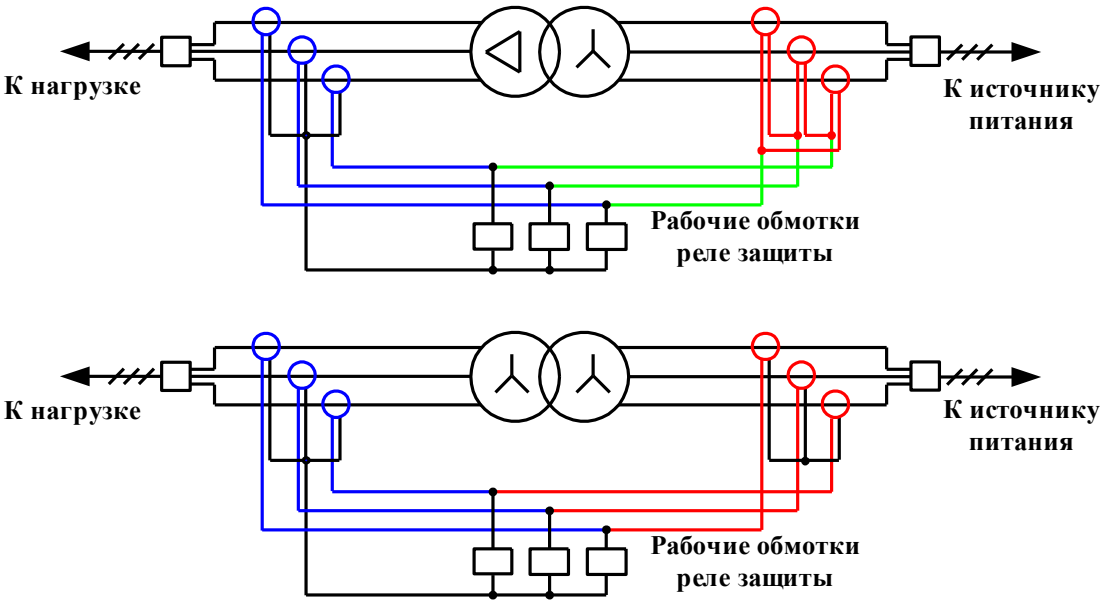
Выравнивание первичного и вторичного токов защищаемого трансформатора с соединением обмоток звезда-треугольник по фазе осуществляется соединением в треугольник вторичных обмоток трансформаторов тока, устанавливаемых со стороны звезды силового трансформатора. Соединение в треугольник обмоток трансформаторов 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.

Применение быстронасыщающихся трансформаторов (БНТ) позволяет выполнить простую и быстродействующую дифференциальную защиту, надежно отстроенную от токов небаланса и бросков токов намагничивания.

В дифференциальных защитах, установленных на трансформаторах с регулированием напряжения под нагрузкой или многообмоточных трансформаторах с несколькими питающими обмотками, токи небаланса в установившемся режиме имеют значительную величину. В этих случаях дифференциальная защита с реле, включенными через БНТ, получается малочувствительной. Чувствительность дифференциальной защиты в указанных случаях может быть повышена путем применения дифференциальных реле с торможением.

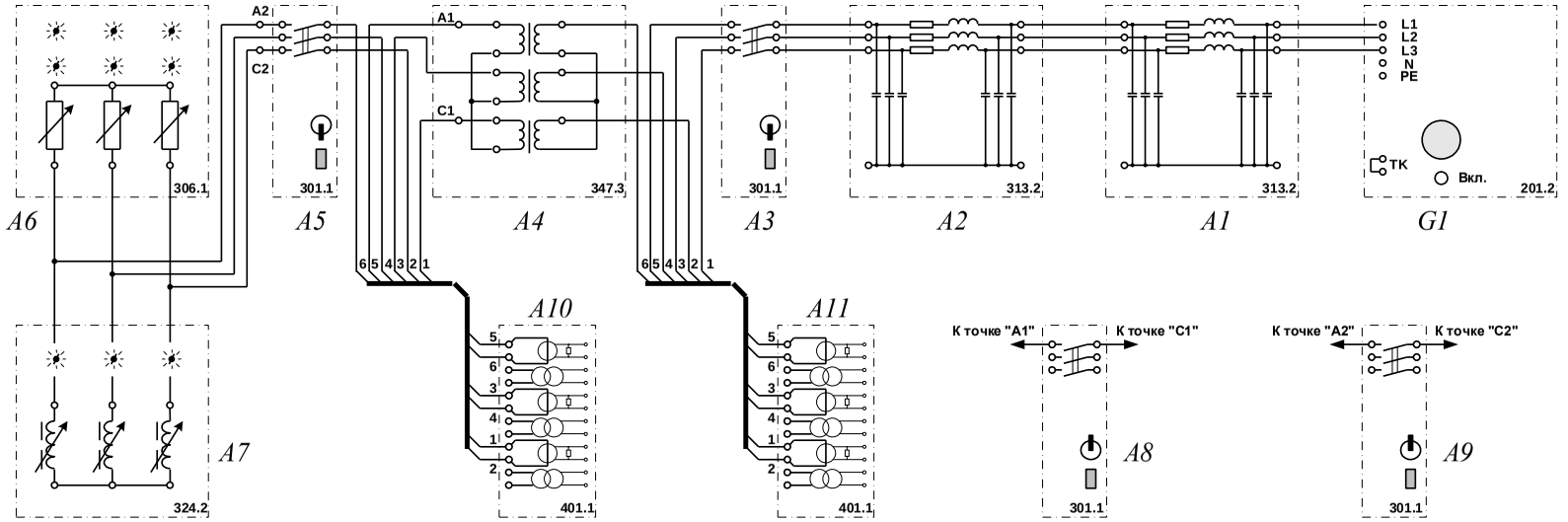


В данном эксперименте моделируется трансформатор (см. рис), обмотки которого могут иметь схему соединения звезда-звезда или звезда-треугольник. Одна сторона трансформатора подключена к источнику питания, другая – к нагрузке. С обеих сторон трансформатора включены измерительные трансформаторы тока и трехполюсные выключатели. Существует возможность устраивать короткие замыкания на выводах трансформатора и на шинах нагрузки.

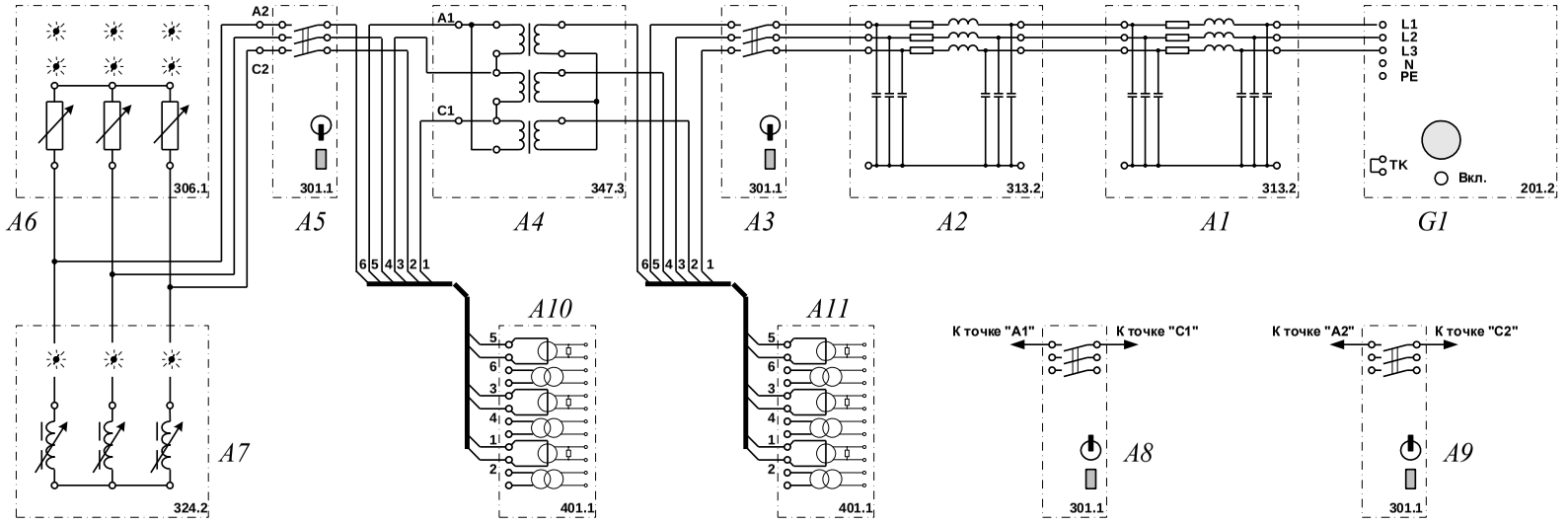
На компьютере с помощью специальной программы моделируется дифференциальная защита трансформатора. Защита настраивается под нужное соединение и напряжение обмоток силового трансформатора. Также защита может работать с торможением от тока внешнего КЗ или без него. При срабатывании защита воздействует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

При правильно собранной схеме и корректно выбранных уставках защита должна срабатывать при замыкании в ее зоне действия и не должна действовать при КЗ на выводах нагрузки.

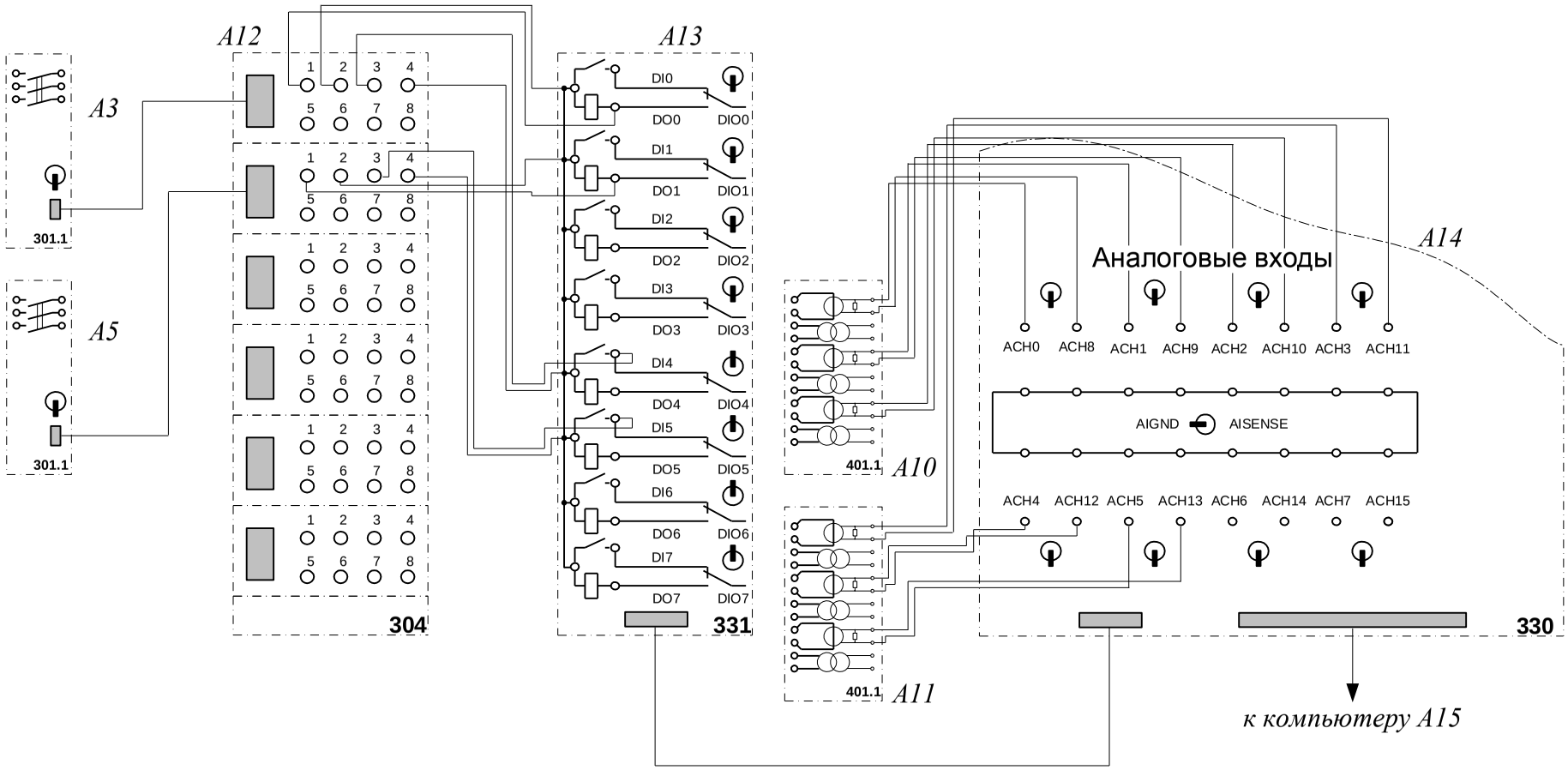
Электрическая схема соединений (вариант 1)



Электрическая схема соединений (вариант 2)



Продолжение электрической схемы соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1, A2	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A3, A5, A8, A9	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A4	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 х 80 В·А; 230 (звезда) / 242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 В
A6	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A7	Индуктивная нагрузка	324.2	220/380 В; 50Гц; 3×0…40 Вар;
A10, A11	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A12	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A13	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A14	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A15	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, плата сбора информации PCI 6024E

Описание электрической схемы соединений

Активная и индуктивная нагрузки A6 и A7 подключены к трехфазному источнику питания G1 через последовательно соединенные линии электропередачи A1 и A2, трехполюсные выключатели A3 и A5 и трехфазную трансформаторную группу A4, 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.

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» источника А1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (вариант 1).

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей А3 и А5 установите в положение «АВТ.»., выключателей А8 и А9 – в положение «РУЧН.». Номинальное вторичное фазное напряжение трехфазной трансформаторной группы А4 выставьте равным, например 230 В. Параметры линий электропередачи А1 и А2 переключателями установите, например, следующими: R = 200 Ом, L/R_L=1,2/32 Гн/Ом, С1=С2=0 мкФ. Величины обеих нагрузок переключателями выставьте равными 100 % во всех трех фазах.

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

Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей А3, А5, А8, А9 блока А13 ввода-вывода цифровых сигналов.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А15, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «Дифференциальная защита трансформатора.exe».

Задайте уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку; например, используйте уставки, заданные по умолчанию. Обратите внимание, что схема соединения обмоток трансформатора и его вторичное напряжение в окне задания уставок защиты должны соответствовать аналогичным параметрам, реально присутствующим в схеме.

Начните запись, введите защиту.

Смоделируйте короткое замыкание вне зоны действия дистанционной защиты, включив выключатель А9.

Через 0,5-1 секунду отключите выключатель А9, выведите защиту, остановите запись. Проанализируйте записанные программой токи защиты.

Вновь начните запись, введите защиту.

Смоделируйте короткое замыкание в зоне действия защиты, включив выключатель А8.

После срабатывания защиты проанализируйте состояние схемы и записанные программой осциллограммы токов.

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

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

Соответствующим образом измените уставки защиты.

Повторите эксперименты.

При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Для удобства определения значений величин по графикам на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
- На экране также отображается состояние выключателей А3 и А5.
- Программы позволяет моделировать дифференциальную защиту с торможением от тока внешнего короткого замыкания.
- Погрешность трансформаторов тока можно задать в главном меню программы в пункте «Настройки».
- Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Параметры буфера, а именно его полную длину и длину «эпилога» (фактически – время записи после свершения интересующего события, в данном случае – срабатывания защиты) можно изменять в пункте меню «Настройки». Например, если срабатывание защиты ожидается через 0,1 секунду после начала короткого замыкания, то для того, чтобы увидеть предаварийный режим, режим короткого замыкания и режим после отключения повреждения длину буфера в целом можно принять равной 5 секундам, а длину эпилога (по сути, это длина записи режима после отключения КЗ) – 0,5–1 секунде.

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

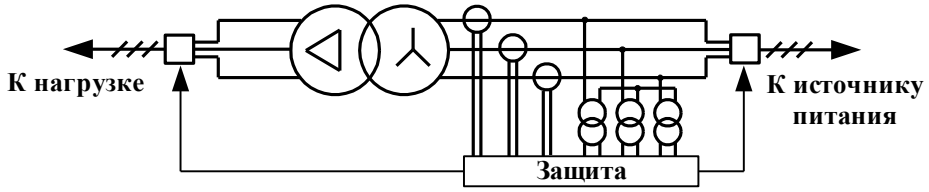
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №18

Максимальная токовая защита трансформатора

Общие сведения

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. Одновременно защита от внешних КЗ используется и для защиты от повреждения в трансформаторе.

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 или же токовые защиты обратной и нулевой последовательности.

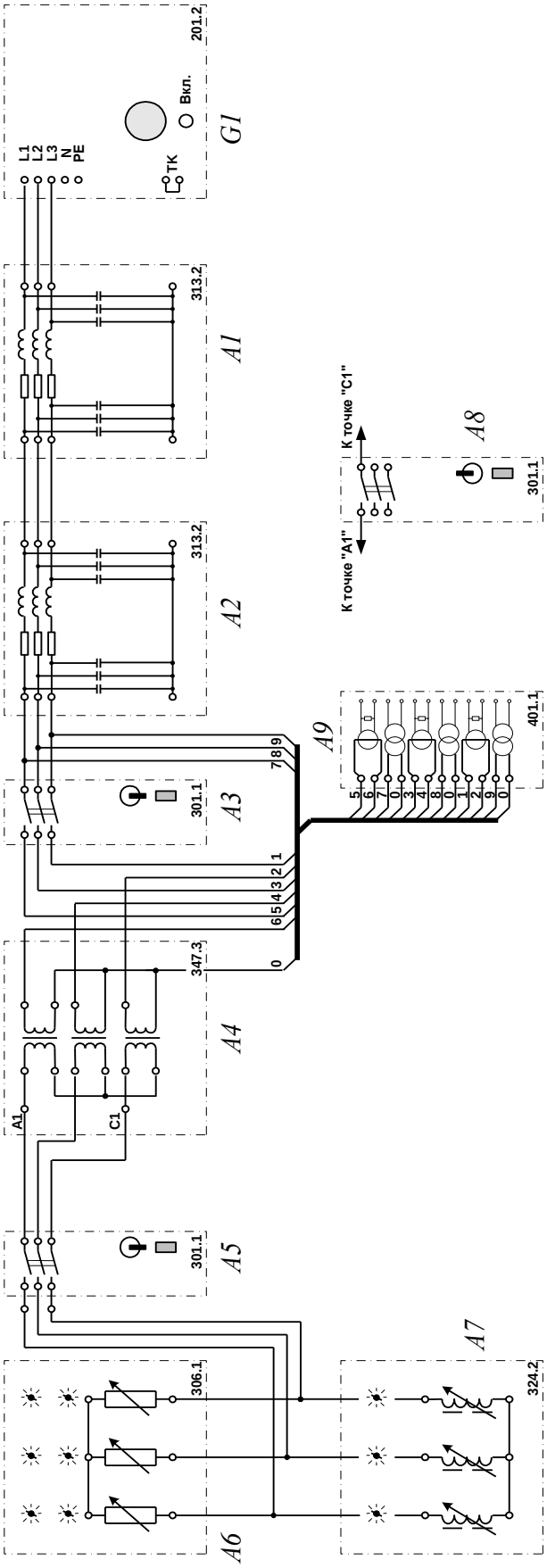


В данном эксперименте моделируется понизительный силовой трансформатор (см. рис), подключенный через трехполюсные выключатели одной своей стороной к источнику питания, а другой – к нагрузке. В цепь первичной обмотки трансформатора включены трансформаторы тока и напряжения. Имеется возможность устраивать короткое замыкание любого вида на выводах вторичной обмотки трансформатора.

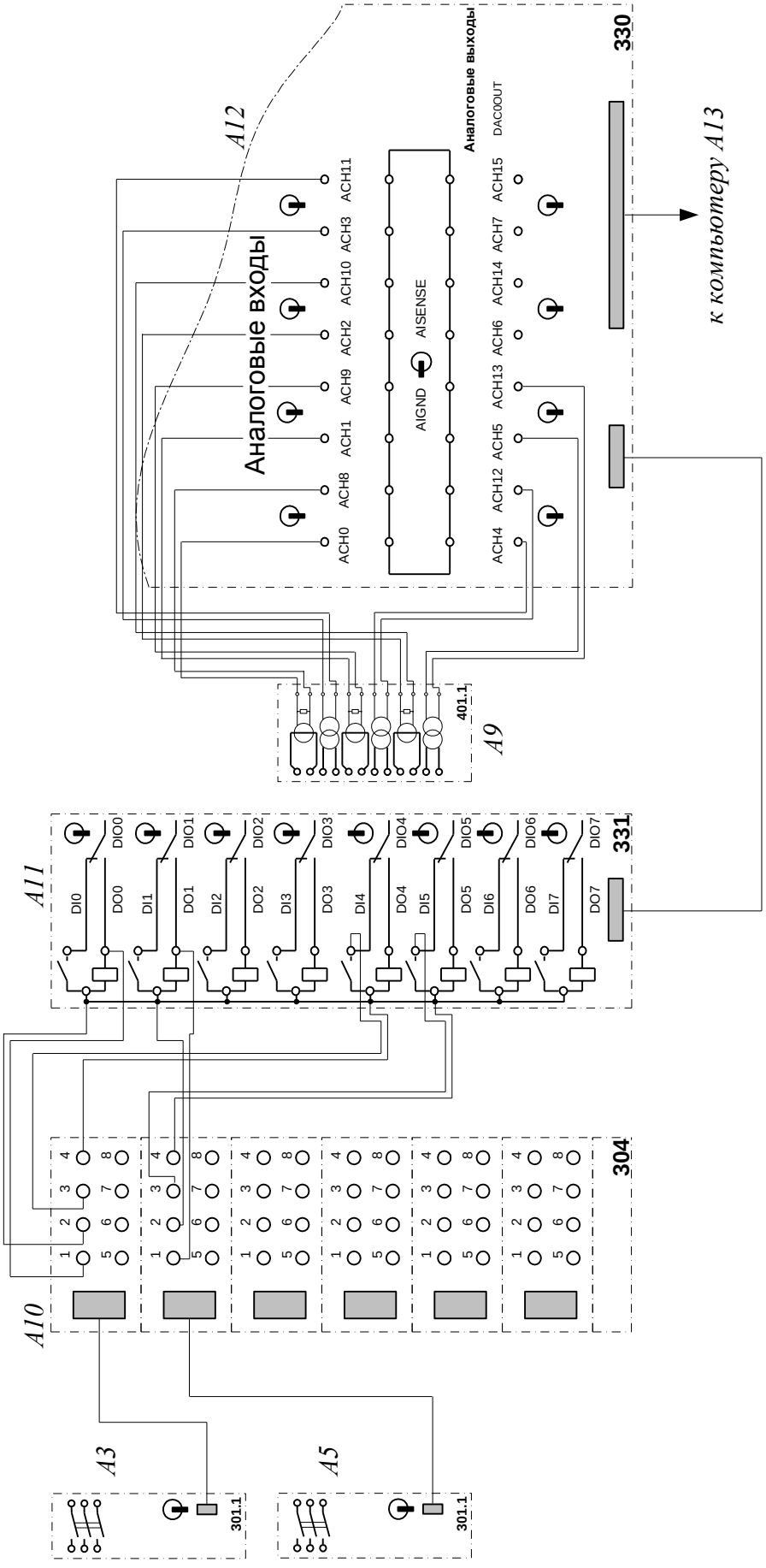
С помощью специальной программы на компьютере моделируется максимальная токовая защита трансформатора, которая может иметь или не иметь блокировку по напряжению. Защита действует одновременно на оба выключателя.

При правильно собранной схеме и корректно выбранных уставках защита должна действовать на отключение при вышеуказанных коротких замыканиях.

Электрическая схема соединений



Продолжение электрической схемы соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1, A2	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A3, A5, A8	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A4	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 х 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A6	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A7	Индуктивная нагрузка	324.2	220/380 В; 50Гц; 3×0…40 Вар;
A9	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A10	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A11	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A12	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A13	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, Windows 9*, монитор, мышь, клавиатура, плата сбора информации PCI 6024E

Описание электрической схемы соединений

Активная нагрузка и индуктивная нагрузки A6 и A7 подключены к трехфазному источнику питания G1 через последовательно соединенные линии электропередачи A1 и A2, трехполюсные выключатели A3 и A5 и трехфазную трансформаторную группу A4.

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 соединений 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.

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» источника G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (вариант 1).

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей А3 и А5 установите в положение «АВТ.»., выключателя А8 – в положение «РУЧН.». Номинальное вторичное фазное напряжение трехфазной трансформаторной группы А4 выставьте равным, например 230 В. Параметры линий электропередачи А1 и А2 переключателями установите, например, следующими: R = 200 Ом, L/R_L=1,2/32 Гн/Ом, С1=С2=0 мкФ. Величины активных нагрузок блока А6 выставьте равными, например, 40% от 50 Вт во всех трех фазах, индуктивных блока А7 – 25 % от 40 Вар во всех трех фазах.

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

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

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А13, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «МТЗ трансформатора.exe».

Задайте уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку; например, используйте уставки, заданные по умолчанию.

Начните запись, введите защиту.

Смоделируйте короткое замыкание, включив выключатель А8.

После срабатывания защиты проанализируйте состояние схемы и записанные программой осциллограммы токов.

Повторите эксперимент, смоделировав короткое замыкание другого вида (например, трехфазное или двухфазное между другими фазами обмоток трансформатора).

Повторите эксперимент, соединив обмотки трансформатора А4 в треугольник.

При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Для удобства определения значений величин по графикам на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
- На экране также отображается состояние выключателей А3 и А5.
- Программа позволяет моделировать токовую защиту с блокировкой по напряжению.
- Цвета осциллограмм и некоторых элементов схемы на экране соответствуют общепринятым.
- Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Параметры буфера, а именно его полную длину и длину «эпилога» (фактически – время записи после свершения интересующего события, в данном случае – срабатывания защиты) можно изменять в пункте меню «Настройки». Например, если срабатывание защиты ожидается через 0,1 секунду после начала короткого замыкания, то для того, чтобы увидеть предаварийный режим, режим короткого замыкания и режим после отключения повреждения длину буфера в целом можно принять равной 3 секундам, а длину эпилога (по сути, это длина записи режима после отключения КЗ) – 0,5–1 секунде.

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

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №19

Устройство резервирования отказов выключателей (УРОВ)

Общие сведения

Статистика показывает, что при автоматической ликвидации повреждений отмечаются отдельные случаи отказа в действии релейной защиты или выключателей.

Несмотря на относительную редкость таких случаев, с ними нельзя не считаться, поскольку отказ защиты или выключателя означает неотключение короткого замыкания (КЗ) со всеми вытекающими из этого последствиями (длительное прохождение токов КЗ и снижение напряжения в сети).

Подобные отказы могут вызывать тяжелые аварии, сопровождающиеся массовым повреждением оборудования (не рассчитанного на длительное прохождение сверхтоков КЗ) и нарушением электроснабжения потребителей из-за понижения напряжения и нарушения устойчивости энергосистем. Наряду с принятием мер по повышению надежности и безотказности действия релейной защиты и выключателей особо важное 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.

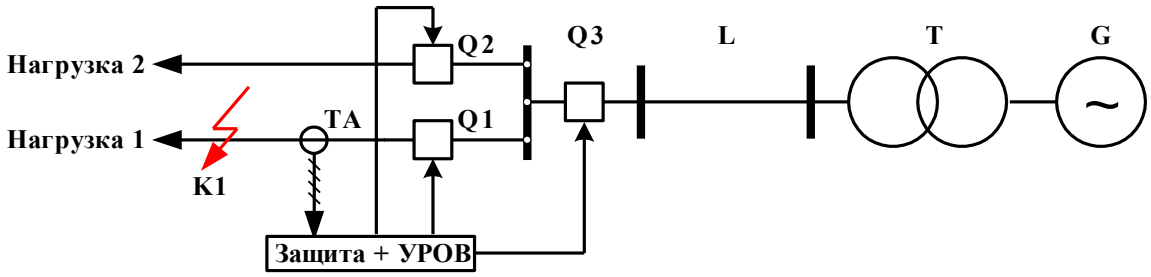
Второй способ резервирования получил значительное распространение на подстанциях, где дальнее резервирование оказывается нечувствительным или неселективным.

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 пускается 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.

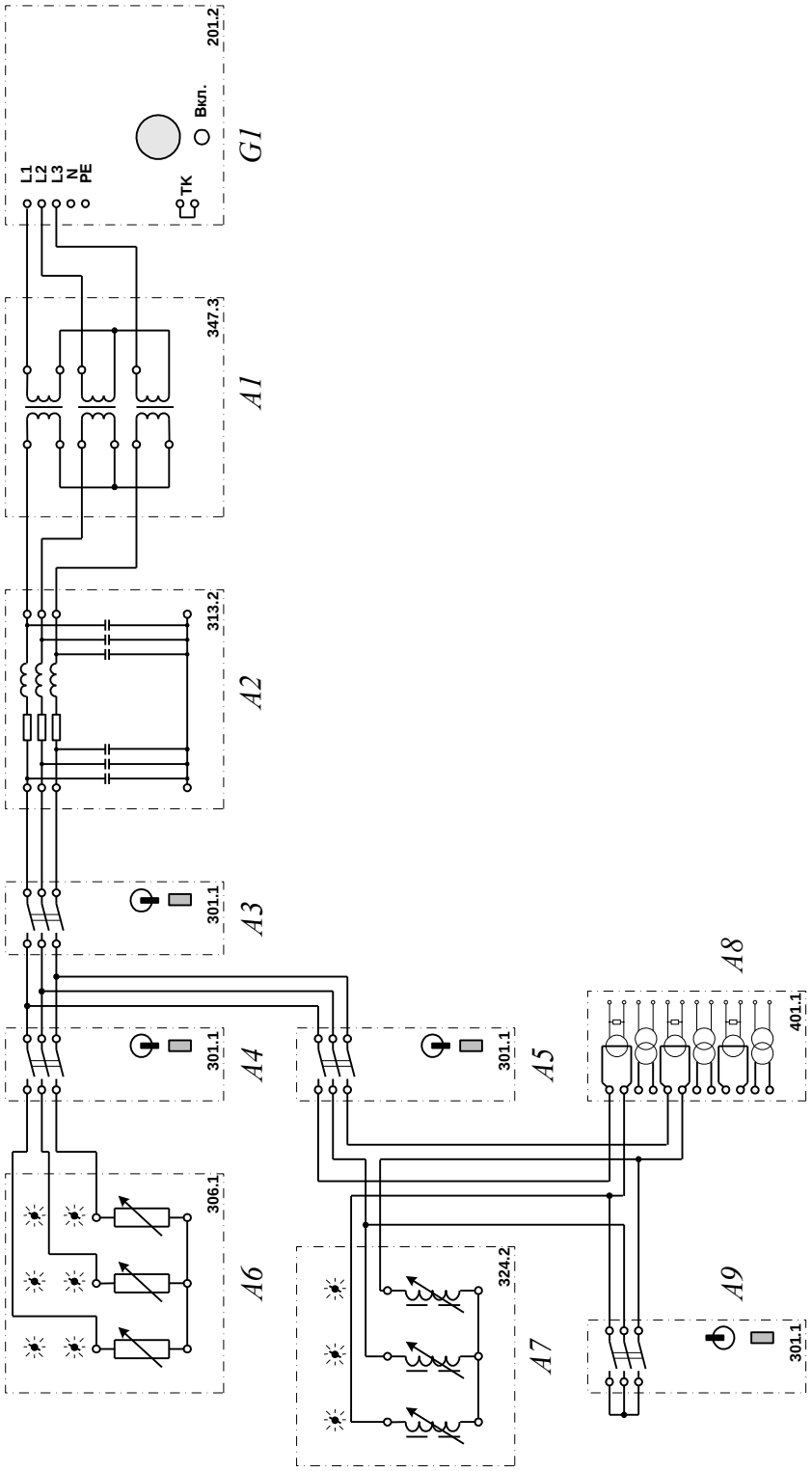
Очевидно, что УРОВ не может резервировать отказ самой защиты. Поэтому его применение предполагает необходимость второго (дублирующего) комплекта защиты для резервирования отказа основной защиты. Обе защиты должны выполняться независимыми друг от друга, так чтобы неисправности в цепях и устройствах одной не могли вызывать отказ второй. Для этой цели каждая защита включается на отдельные трансформаторы тока, оперативные цепи каждой защиты должны питаться от разных предохранителей и иметь разные выходные промежуточные реле.

Устройство резервирования отказа выключателя обладает высокой чувствительностью, так как пусковым органом его 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.

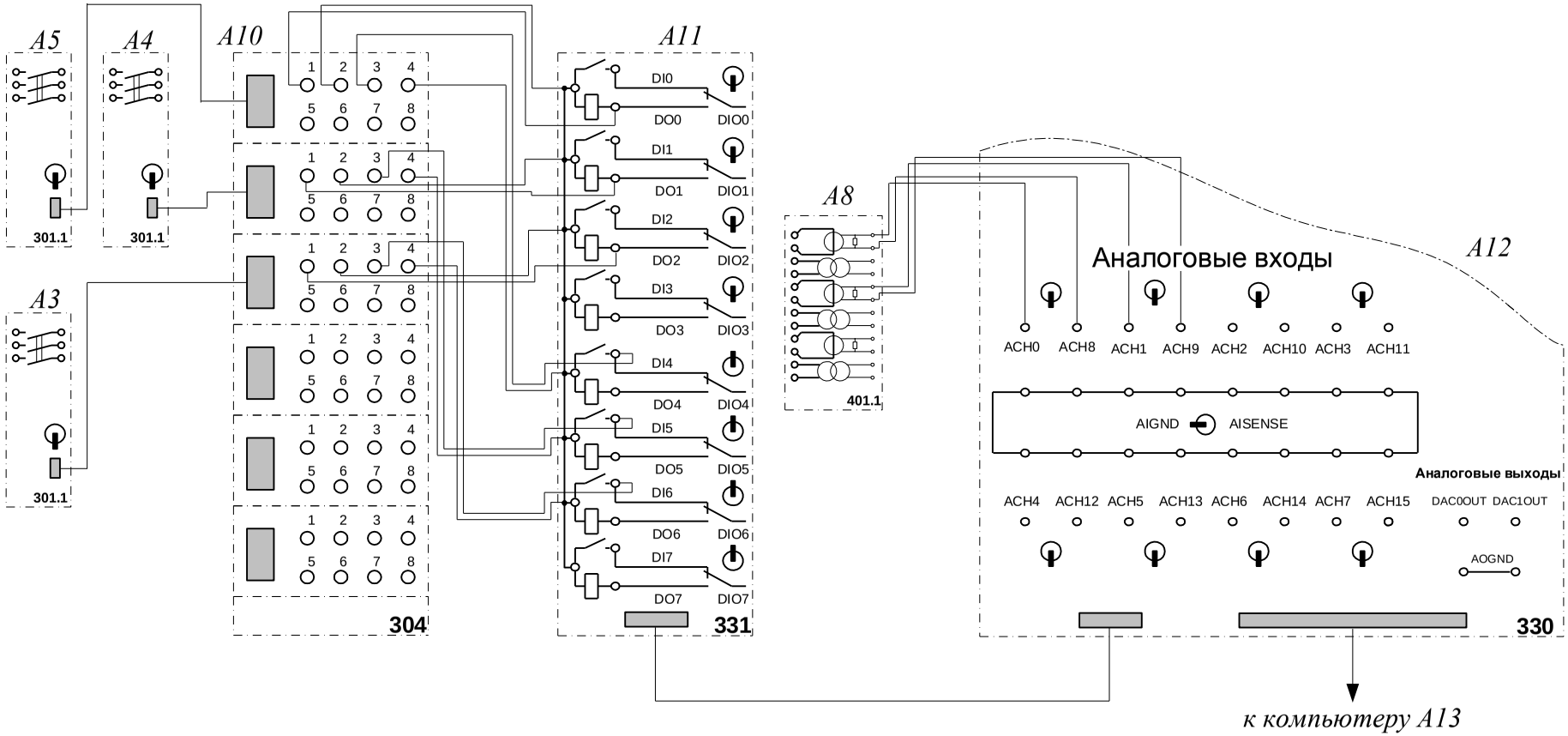


В данном эксперименте моделируются сборные шины с подключенными к ним через выключатели Q1 и Q2 нагрузками. Шины получают питание через выключатель Q3. От трансформаторов тока, включенных в цепь одной из нагрузок питается максимальная токовая защита этого присоединения, смоделированная на компьютере с помощью специальной программы. В случае возникновения короткого замыкания в точке K1 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



Продолжение электрической схемы соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 х 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A2	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A3, A4, A5, A9	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A6	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A7	Индуктивная нагрузка	324.2	220/380 В; 50Гц; 3×0…40 Вар;
A8	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A10	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A11	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A12	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A13	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, плата сбора информации PCI 6024E

Описание электрической схемы соединений

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.

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» источника G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей А3-А5 установите в положение «АВТ.»., выключателя А9 – в положение «РУЧН.». Параметры линий электропередачи А2 переключателями установите, например, следующими: R = 200 Ом, L/R_L=1,2/32 Гн/Ом, C1=C2=0 мкФ. Величины активных нагрузок блока А6 выставьте 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 установите равным 230 В.

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

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

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А13, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «УРОВ.exe».

Задайте уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку; например, используйте уставки, заданные по умолчанию.

Начните запись, введите защиту.

Смоделируйте короткое замыкание, включив выключатель А9.

После срабатывания защиты отключите выключатель А9, проанализируйте состояние схемы и записанные осциллограммы тока.

Вновь начните запись, введите защиту. Переключатель режима работы выключателя А5 установите в положение «РУЧН.», сымитировав тем самым отказ выключателя.

Нажатием на кнопку «ВКЛ.» выключателя А9, смоделируйте короткое замыкание.

Во время работы защиты обратите 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 отключите выключатель А9, проанализируйте состояние схемы и записанные осциллограммы тока.

При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

- Масштабирование осциллограммы токов и напряжений производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Для удобства определения значений величин по графикам на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
- На экране также отображаются состояния выключателей А3-А5.
- Точные значения любых времен следует определять по осциллограмме, а не по журналу работы защит.
- Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Параметры буфера, а именно его полную длину и длину «эпилога» (фактически – время записи после свершения интересующего события, в данном случае – срабатывания защиты) можно изменять в пункте меню «Настройки». Например, если срабатывание защиты ожидается через 0,5 секунды после начала короткого замыкания, то для того, чтобы увидеть предаварийный режим, режим короткого замыкания и режим после отключения повреждения длину буфера в целом можно принять равной 2 секундам, а длину эпилога (по сути, это длина записи режима после отключения КЗ) – 0,5 секунде.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А3, А4, А5, А9, А11.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №20

Автоматическое отключение короткого замыкания на линии электропередачи с односторонним питанием

Общие сведения

Одним из признаков возникновения короткого замыкания является увеличение тока в линии. Этот признак используется для выполнения защит, называемых токовыми. Токовые защиты приходят в действие при увеличении тока в фазах линии сверх определенного значения.

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.

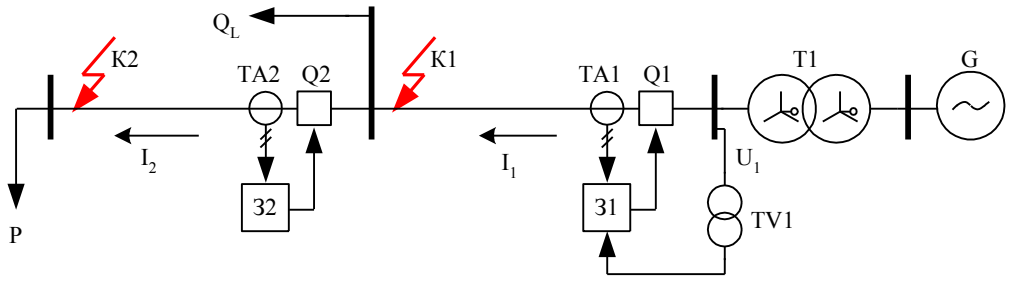
В сетях с односторонним питанием максимальная защита должна устанавливаться в начале каждой линии со стороны источника питания. Тогда каждая линия имеет самостоятельную защиту, отключающую линию в случае повреждения на ней самой или на шинах питающейся от нее подстанции.

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 данном эксперименте используются две последовательно соединенные линии (см. рис), подключенные к источнику G через трансформатор T1 и выключатели Q1 и Q2. От шин одной линии 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 TA2. Короткие замыкания K1 и K2 устраиваются в конце каждой из линий.

Две защиты З1 и З2 моделируются на компьютере с помощью специальной программы. Защита З1 может работать с независимой или зависимой выдержкой времени, а также с блокировкой по напряжению или без нее. Защита З2 может работать только с независимой выдержкой времени без блокировки по напряжению.

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

З1 с независимой выдержкой времени без блокировки по напряжению;

З1 с зависимой выдержкой времени без блокировки по напряжению;

З1 с независимой выдержкой времени с блокировкой по напряжению;

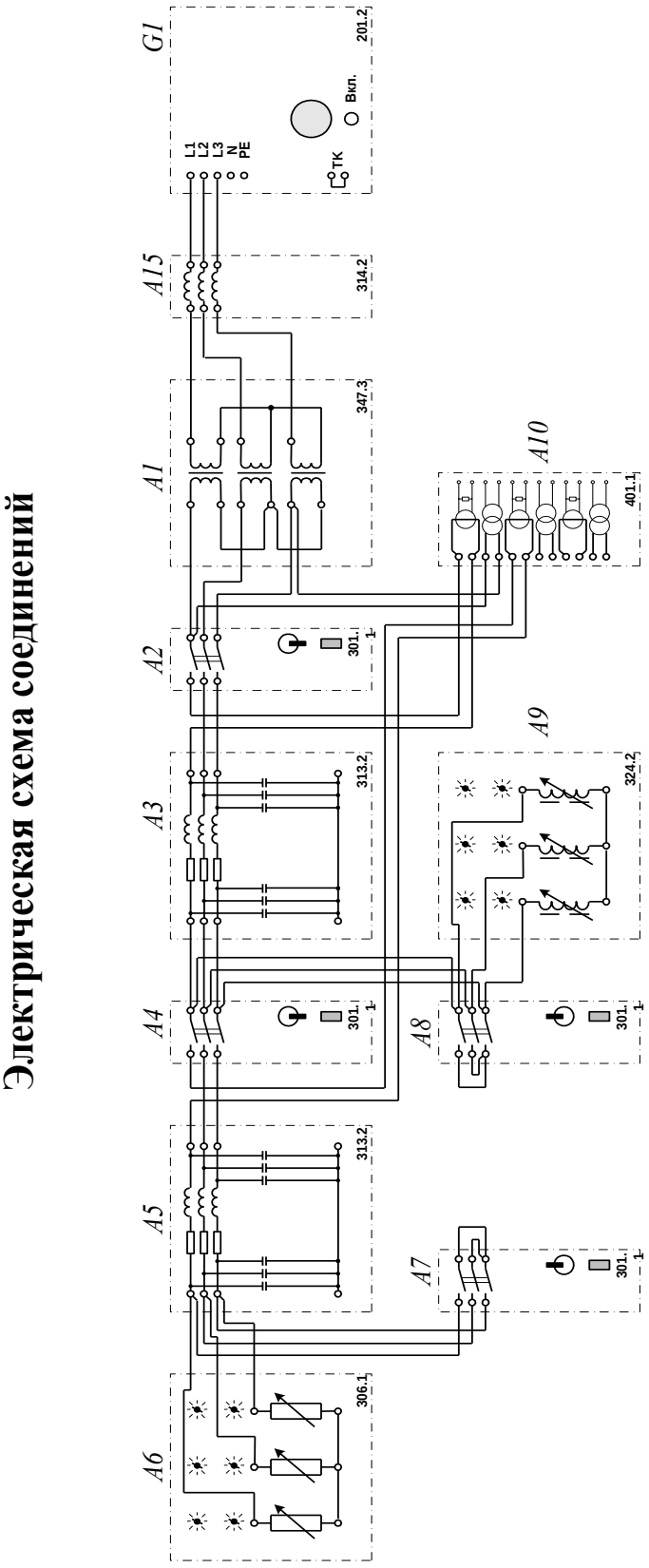
З1 и З2 с независимыми выдержками времени без блокировок по напряжению;

З1 или З2 в качестве токовой отсечки без выдержки времени.

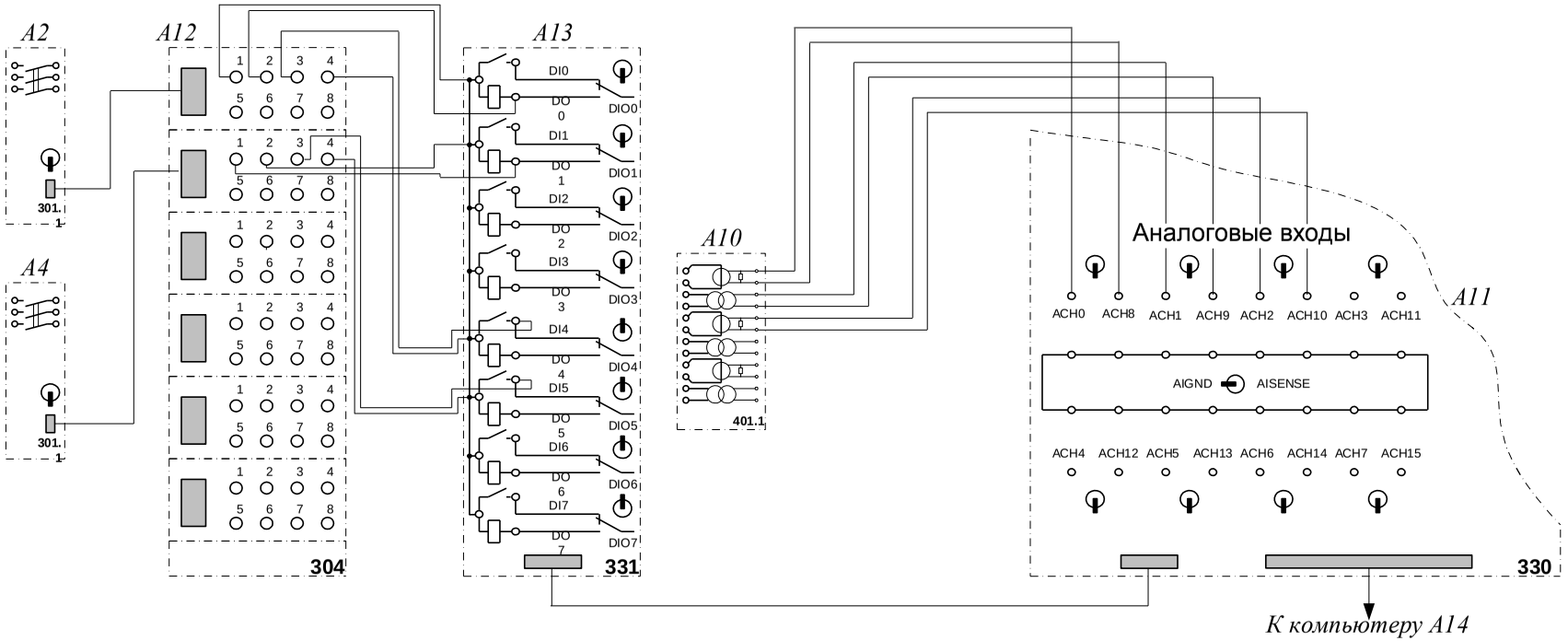
Кроме перечисленных, можно выполнить и другие эксперименты, любым образом комбинируя уставки защит.

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.

Электрическая схема соединений



Электрическая схема соединений (продолжение)



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 x 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A2, A4, A7, A8	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A3, A5	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A6	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A9	Индуктивная нагрузка	324.2	220/380 В; 50Гц; 3×0…40 Вар;
A10	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A11	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A12	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A13	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A14	Персональный компьютер	550	IBM совместимый, плата сбора информации PCI 6024E
A15	Линейный реактор	314.2	220/380 В; 50 Гц; 0,5 А; 0,3 Гн/10 Ом
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» источника G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Тумблеры делителей напряжения коннектора A11 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора A11 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока A13 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей A2 и A4 установите в положение «АВТ.», выключателей A7 и A8 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока A1 выставьте равными, например, 127/230 В. Параметры линии электропередачи A3 переключателями установите, например, следующими: R = 0 Ом, L/R_L=1,2/32 Гн/Ом, C1=C2=0 мкФ; линии электропередачи A5 - следующими: R = 0 Ом, L/R_L=1,2/32 Гн/Ом, C1=C2=0 мкФ. Выберите мощность активной нагрузки A6, например 80% от 50 Вт во всех трех фазах. Выберите мощность индуктивной нагрузки A9, например 100% от 40 Вар во всех трех фазах.

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

Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей A2, A4, A7, A8, блока A13 ввода-вывода цифровых сигналов.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A14 и запустите прикладную программу «Автоматическое отключение КЗ».

Смоделируйте требуемый вариант защиты, для чего задайте уставки, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Например, используйте уставки, заданные по умолчанию.

Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» и смоделируйте короткое замыкание в конце одной из линий, включив выключатели A7 или A8. После отключения защитой «поврежденной» линии остановите запись. Нажмите на виртуальную кнопку «Отобразить записанный процесс» и проанализируйте осциллограммы токов и напряжений линий, а также информацию о последовательности произошедших событий.

При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

– Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному

масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.

- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Для удобства определения значений величин по графикам в нижней части экрана отображаются текущие координаты указателя мыши.
- Если защита «запустилась», то на экране красным шрифтом отображается время, оставшееся до ее срабатывания.
- Уставки токов и напряжений следует задавать действующими значениями.
- При использовании зависимой от тока характеристики выдержки времени нужно иметь ввиду, что защита срабатывает только если ток схемы становится больше уставки защиты по току.
- Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Его длина составляет 10 секунд.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков A2, A4, A7, A8 и A13.

В рамках рассматриваемой работы можно выполнить, как минимум, 5 экспериментов: МТЗ1 с независимой выдержкой времени без блокировки по напряжению, МТЗ1 с зависимой выдержкой времени без блокировки по напряжению, МТЗ1 с независимой выдержкой времени с блокировкой по напряжению, МТЗ1 и МТЗ2 с независимыми выдержками времени без блокировок по напряжению, токовая отсечка без выдержки времени. Кроме перечисленных, можно выполнить и другие эксперименты, любым образом комбинируя уставки защит.

При использовании сразу двух МТЗ линий целесообразно убедиться в том, что защита линии А3 действительно резервирует защиту линии А5. Для этого нужно смоделировать отказ выключателя А4 (например, включить его и перевести в ручной режим работы), после чего произвести эксперимент, устраивая короткое замыкание в конце линии А5, и убедиться, что срабатывает защита линии А3.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №21

Автоматическое повторное включение линии электропередачи с односторонним питанием

Общие сведения

Преобладающая часть аварийных отключений воздушных линий электропередачи является следствием неустойчивых повреждений. Неустойчивыми называют такие повреждения, которые самоустраняются после снятия напряжения, т.е. после отключения линии. Обычно такие нарушения возникают при перекрытиях изоляции из-за атмосферных перенапряжений, при «набросах» на провода, схлестывании и по другим причинам. В этом случае после обратного включения под напряжение линии, на которой произошло неустойчивое повреждение, восстанавливается нормальный режим работы энергосистемы и потребителей. Такое включение называется повторным включением, а специальные автоматические устройства, выполняющие данную операцию, - устройствами автоматического повторного включения (АПВ). АПВ, после которого восстанавливается нормальный режим работы, называется успешным.

Устойчивые повреждения происходят на воздушных линиях значительно реже и не устраняются после ее повреждения. В таких случаях повторное включение оказывается неуспешным и линия вновь отключается.

Наибольшее распространение получило однократное повторное включение. Двукратное АПВ применяется значительно реже, обычно на тупиковых линиях, когда его применение диктуется требованиями повышенной надежности электроснабжения потребителей.

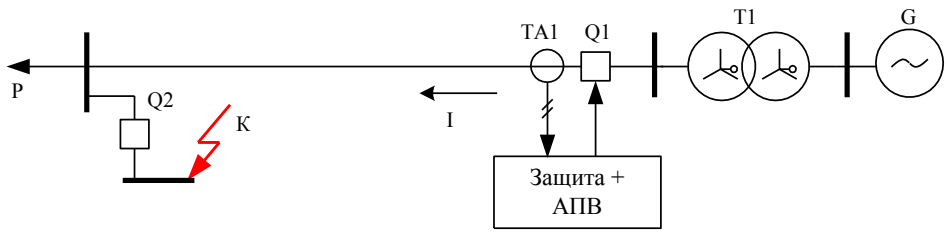
Совместное использование устройств АПВ и релейной защиты позволяет сократить время отключения КЗ и тем самым повысить надежность работы энергосистемы и потребителей. Достигается это путем автоматического ускорения действия релейной защиты, т.е. путем уменьшения или же полного исключения выдержки времени защиты.

В эксплуатации применяются два способа ускорения действия релейной защиты – до АПВ и после АПВ.

Принцип действия ускорения до АПВ следующий. Повреждения, возникающие на любом участке линии, отключаются без выдержки времени, а неселективное действие защиты «исправляется» с помощью устройства АПВ.

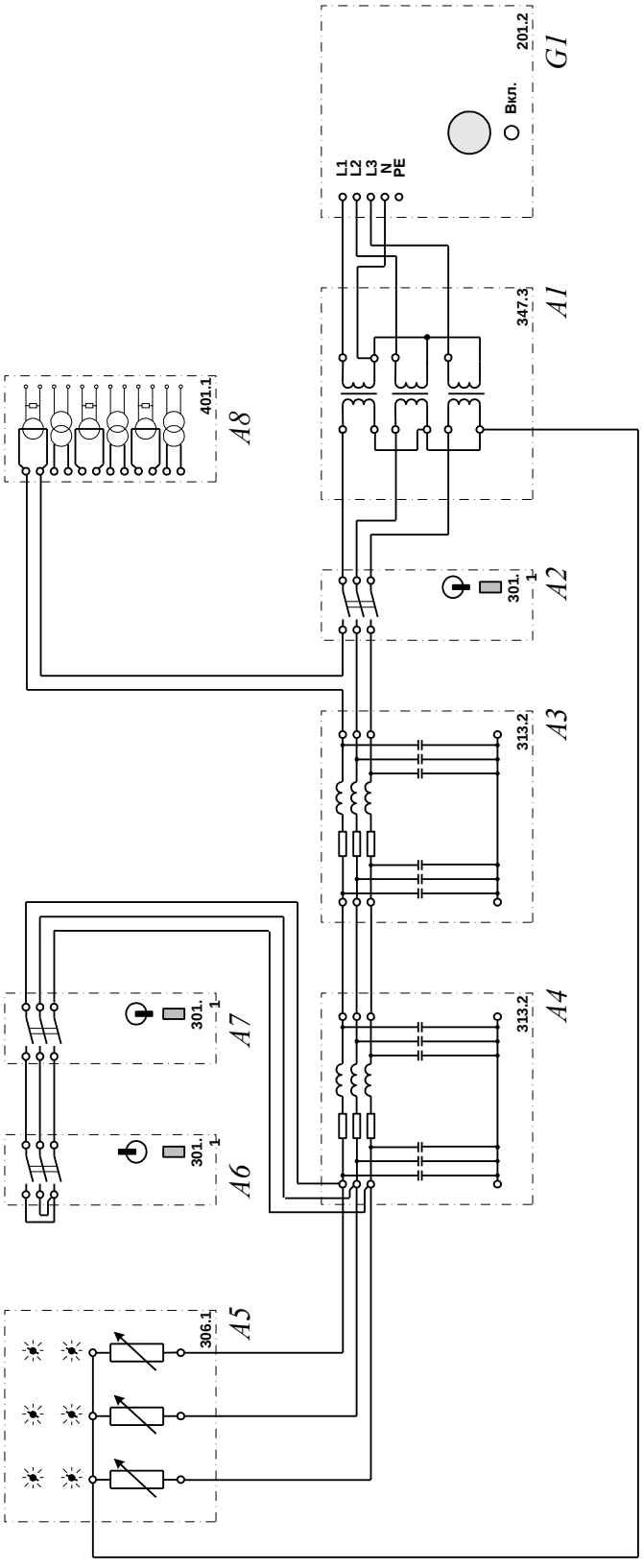
Ускорение после АПВ заключается в том, что вначале (перед АПВ) действует селективная защита и производит отключение поврежденного участка сети, а к моменту повторного включения выключателя ее выдержка времени автоматически устраняется на некоторое время. В случае неуспешного АПВ защита действует без выдержки времени, сохраняя свою селективность. Если АПВ успешное, то через определенное время ускорение

автоматически выводится и новое повреждение будет отключаться селективно.

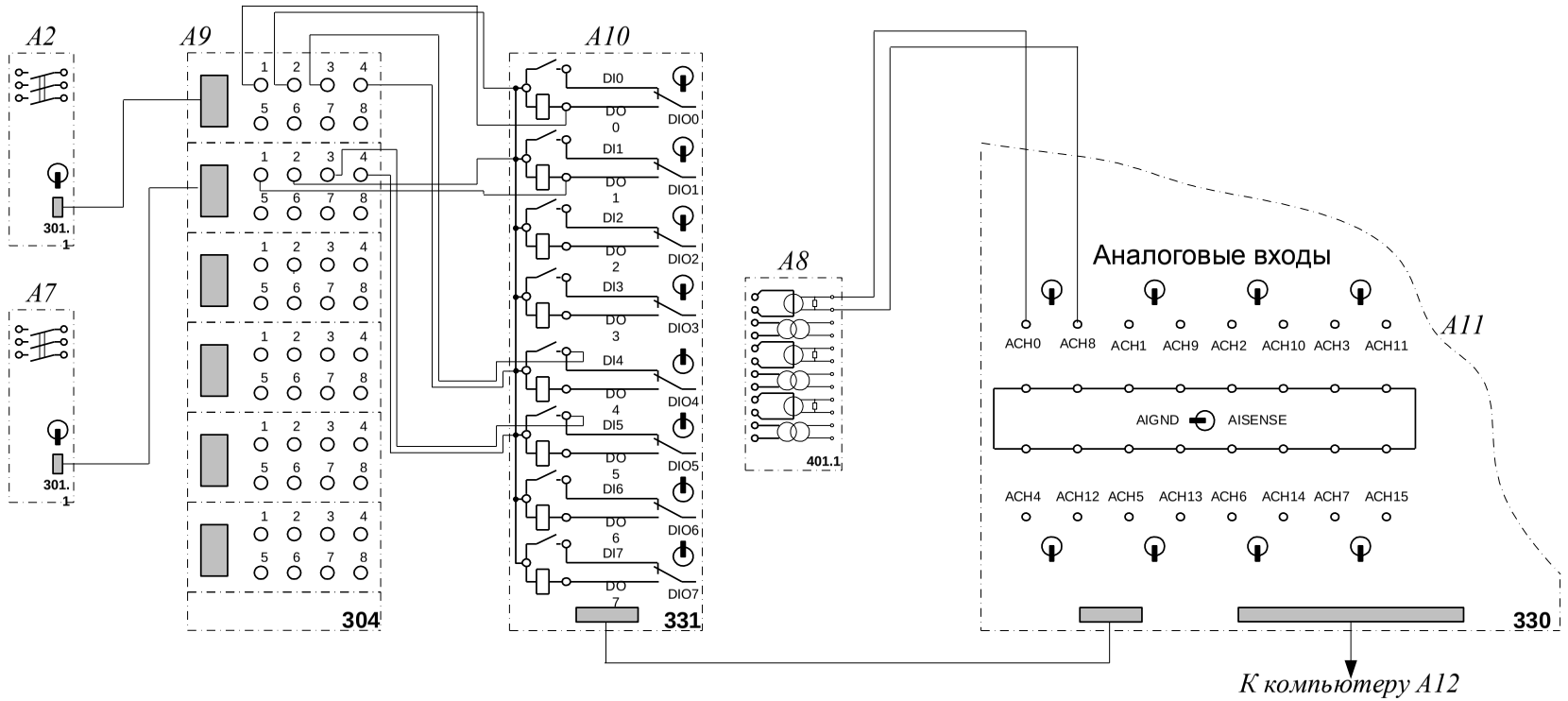


В данном эксперименте используется линия электропередачи (см. рис), подключенная к источнику G через трансформатор T1 и выключатель Q1. От шин линии получает питание активная нагрузка P. В начале линии установлен трансформатор тока TA1. Короткое замыкание K устраивается в конце линии. Выключатель Q2, работающий в автоматическом режиме, используется для нормирования времени короткого замыкания.

Электрическая схема соединений



Электрическая схема соединений (продолжение)



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 x 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A2, A6, A7	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A3, A4	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A5	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A8	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A9	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A10	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A11	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A12	Персональный компьютер	550	IBM совместимый, Windows, плата сбора информации PCI 6024E
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» источника G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Тумблеры делителей напряжения коннектора A9 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора A9 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока A10 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей A2 и A7 установите в положение «АВТ.», выключателя A6 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока A1 выставьте равными, например, 133/230 В. Параметры линий электропередачи A3 и A4 переключателями установите, например, следующими: R = 0 Ом, L/R_L=0,9/24 Гн/Ом, C1=C2=0 мкФ. Выберите мощность активной нагрузки A5, например 80% от 50 Вт во всех трех фазах.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A12 и запустите прикладную программу «АПВ линии электропередачи с односторонним питанием».

Задайте уставки защиты и АПВ, нажав на соответствующую виртуальную кнопку . Например, используйте уставки по умолчанию.

Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей A2, A6, A7, блока A10 ввода-вывода цифровых сигналов.

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

Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» и смоделируйте короткое замыкание, включив выключатель A6. После того, как автоматика завершит свою работу, остановите запись. Нажмите на виртуальную кнопку «Отобразить записанный процесс» и проанализируйте осциллограмму токов линии, а также информацию о последовательности произошедших событий.

При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

- Масштабирование осциллограммы производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Двигать график осциллограммы относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Для удобства определения значений величин по графикам в нижней части экрана отображаются текущие координаты указателя мыши.
- Если защита «запустилась», то на экране красным шрифтом отображается время, оставшееся до ее срабатывания. Время,

оставшееся до срабатывания АПВ1 (АПВ2), отображается синим (зеленым) шрифтом.

- Уставку тока следует задавать действующими значениями.
- Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Его длина составляет 15 секунд.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А2, А6, А7 и А10.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №22

Автоматическое повторное включение линии электропередачи с двусторонним питанием

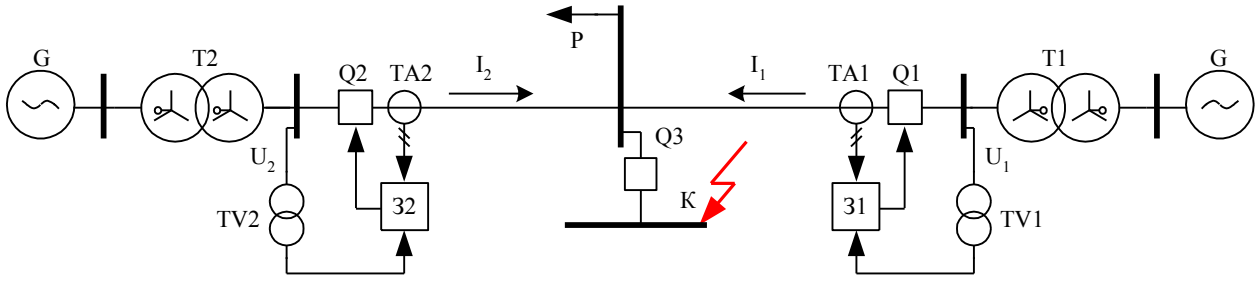
Общие сведения

Выполнение трехфазного АПВ линий с двухсторонним питанием имеет ряд особенностей, обусловленных наличием двух источников питания и возможностью нарушения их синхронной параллельной работы после отключения линии.

Для ликвидации неустойчивого повреждения и деионизации среды в месте повреждения на линии с двусторонним питанием необходимо отключать ее с обеих сторон. Следовательно, устройства АПВ должны устанавливаться по обоим концам линии.

Обычно во избежание двукратного включения на устойчивое КЗ от двух устройств АПВ, расположенным по концам линии, производится сначала ее опробование путем включения с одной стороны (АПВ с контролем отсутствия напряжения). Если напряжение на линии восстановилось, т.е. повреждение устранилось, действует второй комплект АПВ (АПВ с контролем наличия напряжения).

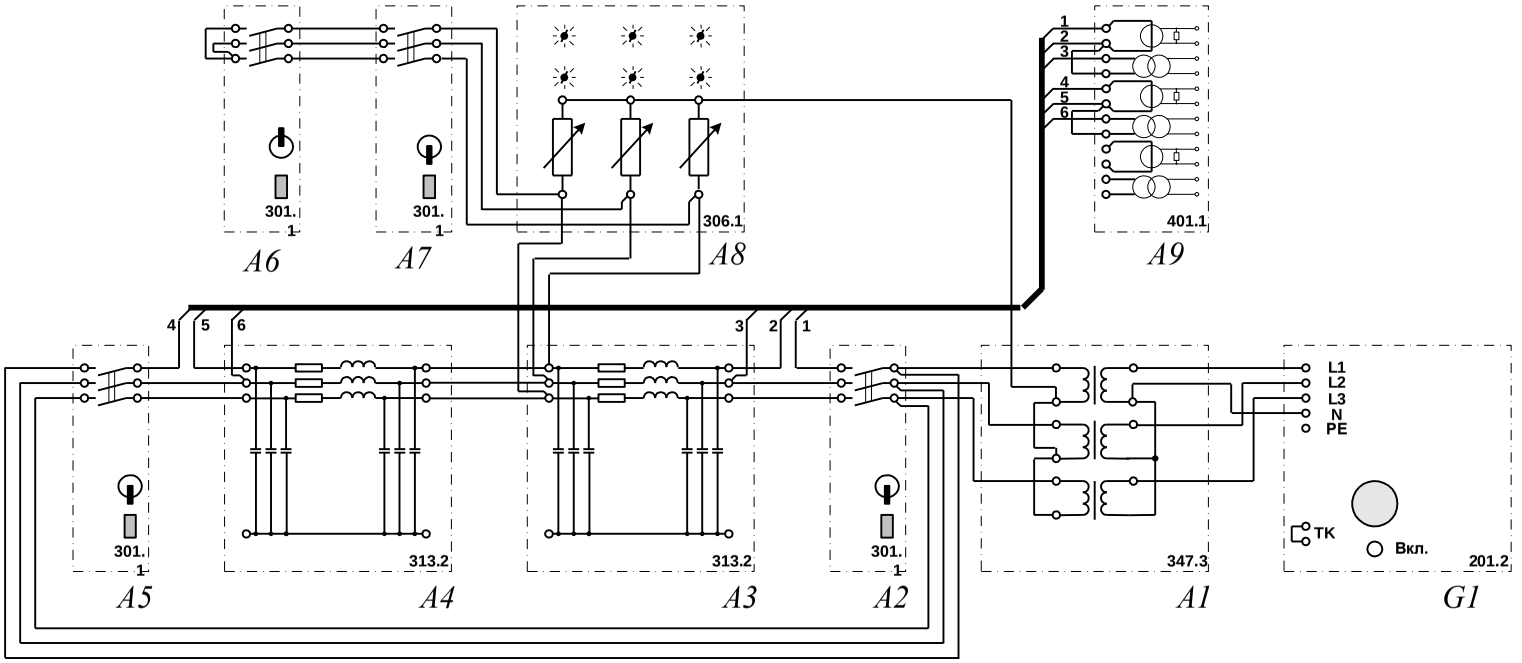
В тех случаях, когда синхронизм нарушается, на линиях применяются в зависимости от конкретных условий различные типы устройств АПВ: несинхронное (НАПВ), быстродействующее (БАПВ), с ожиданием синхронизма (АПВОС), с улавливанием синхронизма (АПВУС), с самосинхронизацией синхронных генераторов, компенсаторов и двигателей (АПВС).



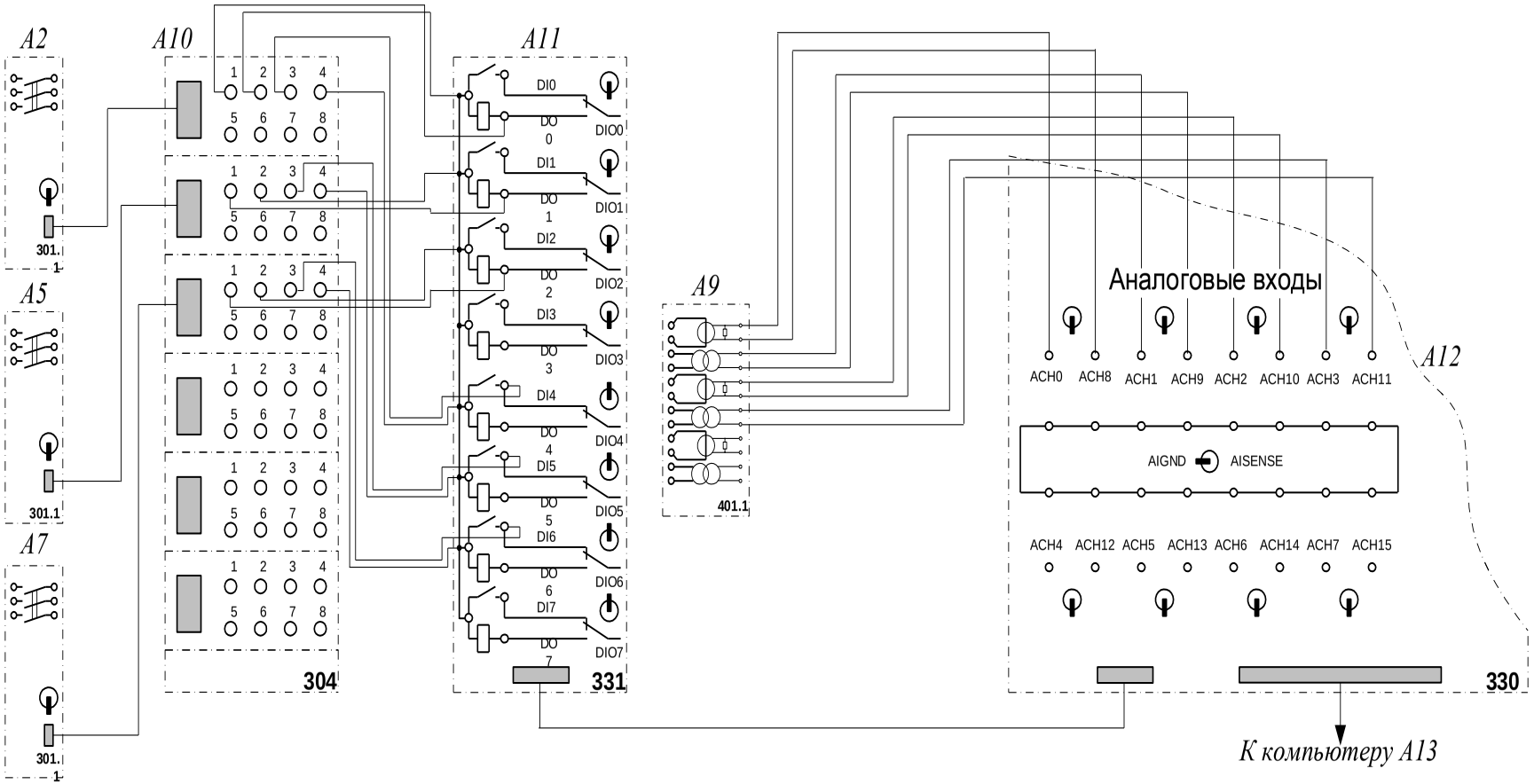
В данном эксперименте используется линия электропередачи с двусторонним питанием (см. рис). От середины линии получает питание активная нагрузка Р, на шинах которой устраивается короткое замыкание К. Выключатель Q3, работающий в автоматическом режиме, используется для ограничения времени этого короткого замыкания.

Токовые защита и устройства АПВ моделируются на компьютере с помощью специальной программы. Предполагается, что нарушения синхронной работы источников питания не происходит.

Электрическая схема соединений



Электрическая схема соединений (продолжение)



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 x 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A2, A5, A6, A7	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A3, A4	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A8	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A9	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A10	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A11	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A12	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A13	Персональный компьютер	550	IBM совместимый, Windows, плата сбора информации PCI 6024E
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» источника G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Тумблеры делителей напряжения коннектора A12 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора A12 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока A11 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей A2, A5 и A7 установите в положение «АВТ.», выключателя A6 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока A1 выставьте равными, например, 133/230 В. Параметры линий электропередачи A3 и A4 переключателями установите, например, следующими: R = 200 Ом, L/R_L=1,2/32 Гн/Ом, C1=C2=0 мкФ. Выберите мощность активной нагрузки A8, например 80% от 50 Вт во всех трех фазах.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A13 и запустите прикладную программу «АПВ линии электропередачи с двусторонним питанием».

Задайте уставки защиты и АПВ, нажав на соответствующую виртуальную кнопку . Например, используйте уставки по умолчанию.

Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей A2, A5, A6, A7, блока A11 ввода-вывода цифровых сигналов.

Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» и смоделируйте короткое замыкание, включив выключатель A6. После того, как автоматика завершит свою работу, остановите запись. Нажмите на виртуальную кнопку «Отобразить записанный процесс» и проанализируйте осциллограммы токов и напряжений, а также информацию о последовательности произошедших событий.

При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Для удобства определения значений величин по графикам в нижней части экрана отображаются текущие координаты указателя мыши.
- Если защита «запустилась», то на экране красным шрифтом отображается время, оставшееся до ее срабатывания. Время, оставшееся до срабатывания АПВ, отображается синим шрифтом.
- Уставку тока следует задавать действующими значениями.

– Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Его длина составляет 15 секунд.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А2 , А5, А6, А7 и А11.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №23

Автоматическое резервное включение секционного выключателя понизительной подстанции

Общие сведения

Для надежного электроснабжения потребителей в энергосистемах и электроустановках создаются специальные схемы электрических соединений, обеспечивающие повышенную надежность.

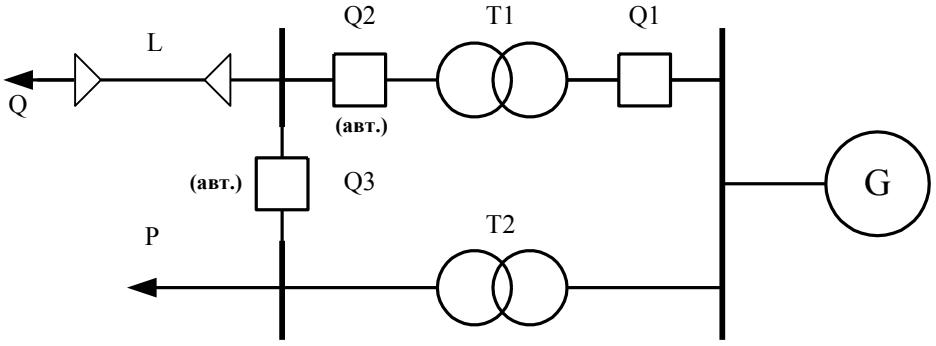
Высокую степень надежности электроснабжения обеспечивают схемы питания подстанций одновременно от двух и более источников питания, поскольку при таких схемах аварийное отключение одного из источников не нарушает питания потребителей.

Несмотря на эти очевидные преимущества многостороннего питания потребителей, большое количество подстанций воздушных и кабельных сетей, имеющих два и более источников питания, работают по схеме одностороннего питания. Одностороннее питание имеют также секции собственных нужд электростанций.

Применение такой менее надежной, но более простой схемы электроснабжения во многих случаях оказывается целесообразным для снижения величин токов короткого замыкания, экономии потерь мощности в трансформаторах, упрощения релейной защиты, созданию необходимого режима по напряжению, перетокам мощности и т.п. При развитии сетей одностороннее питание часто является единственно возможным решением, так как ранее установленное оборудование и релейная защита не позволяют осуществить параллельную работу источников питания.

Недостатком одностороннего питания является то, что аварийное отключение рабочего источника приводит к прекращению питания потребителей, т.е. к аварии.

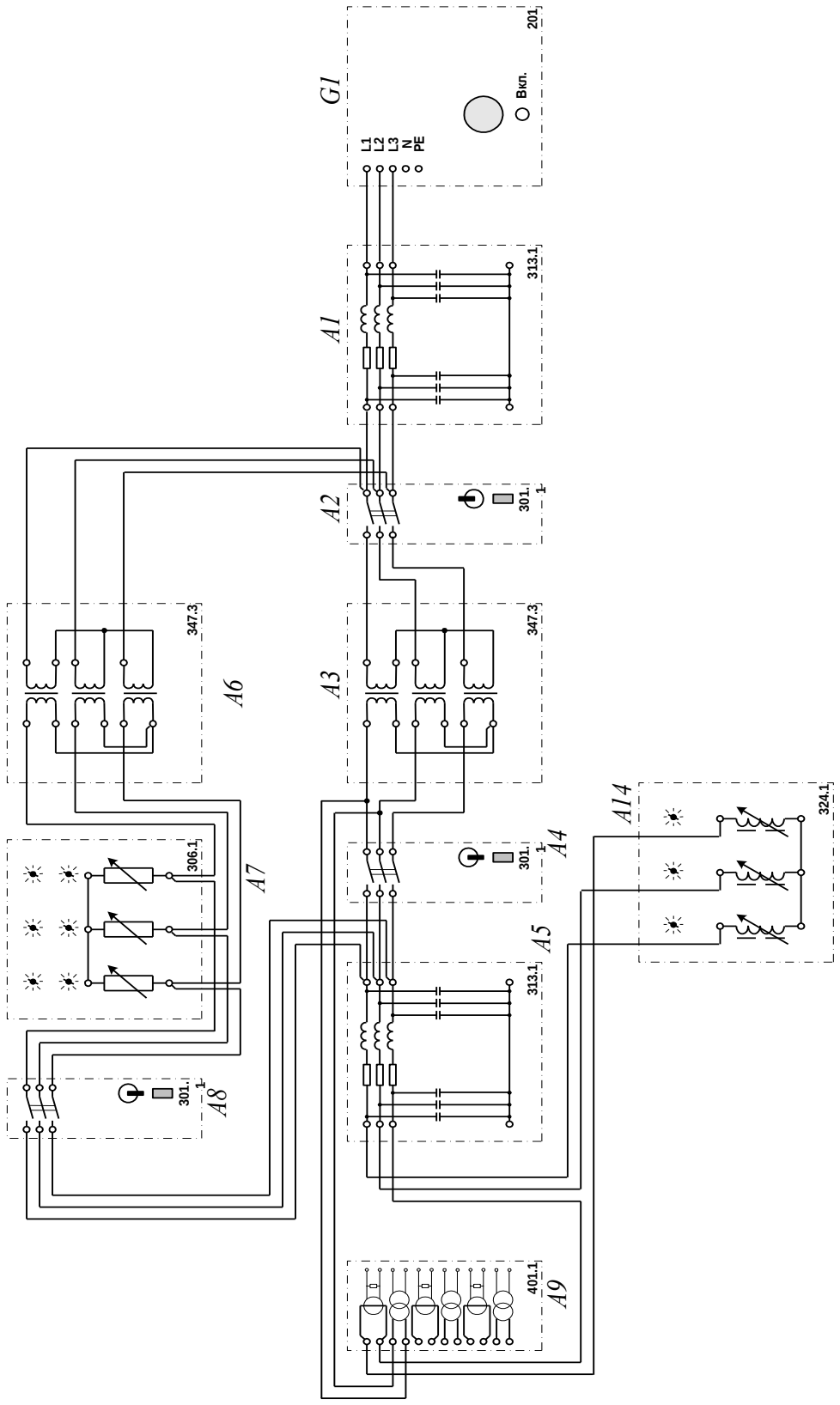
Этот недостаток может быть в значительной степени устранен быстрым автоматическим включением резервного источника или включением выключателя, на котором производится деление сети. Для выполнения этой операции широко используются специальные автоматические устройства, получившие наименование автоматов включения резерва (АВР).



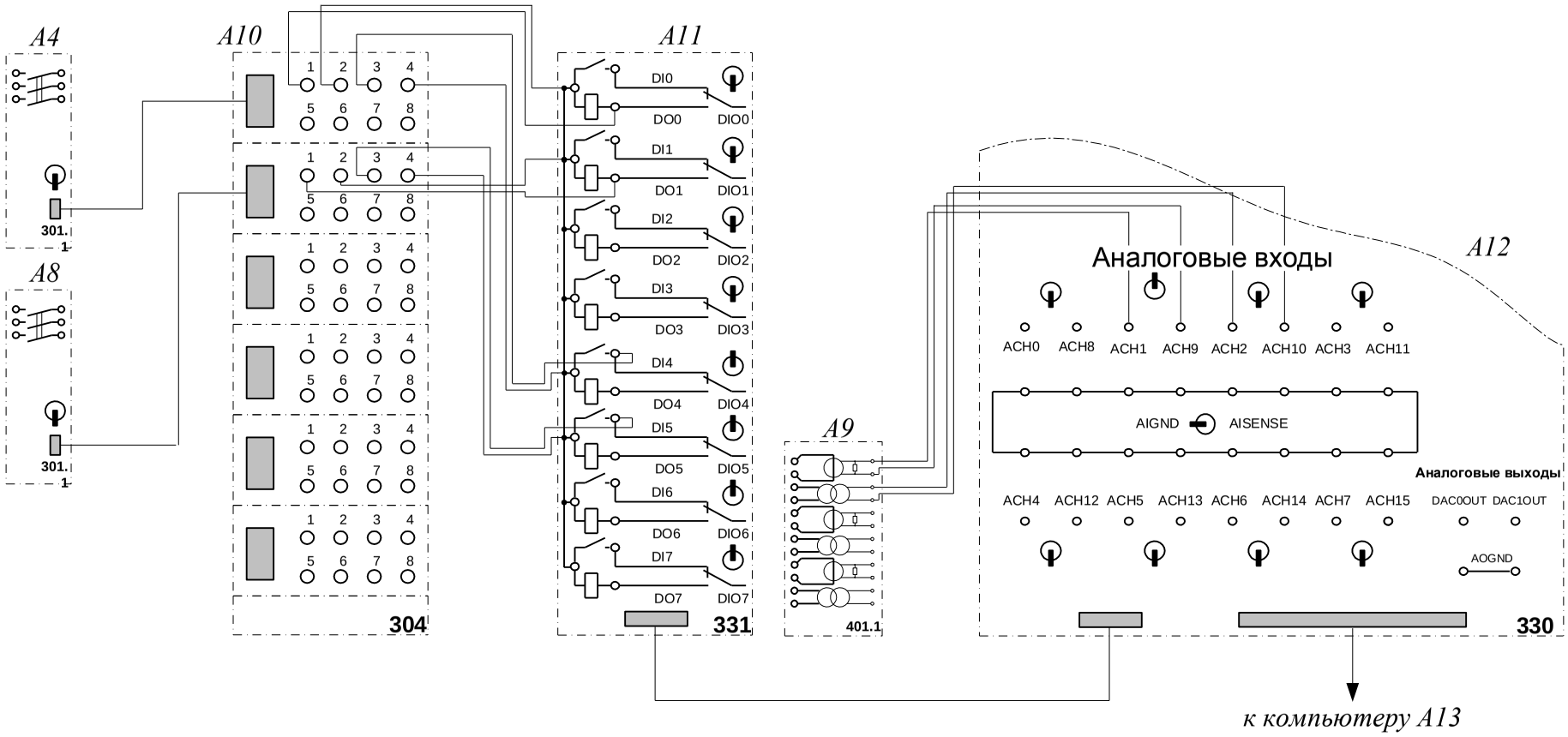
В данном эксперименте моделируется схема понизительной подстанции (см. рис). В нормальном режиме работы выключатели Q1 и Q2 включены, секционный выключатель Q3 – отключен. При «аварийном» отключении выключателя Q1 (т.е. при исчезновении напряжения на шинах подстанции), сначала срабатывает защита минимального напряжения, отключающая выключатель Q2, а затем – устройство АВР, которое включает выключатель Q3.

Защита минимального напряжения и устройство АВР моделируются на компьютере с помощью специальной программы. Пуск устройства АВР происходит в случае исчезновения (снижения до значения уставки) напряжения на шинах подстанции.

Электрическая схема соединений



Продолжение электрической схемы соединений



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1, A5	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,3 А
A2, A4, A8	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A3, A6	Блок однофазных трансформаторов	347.3	3 х 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A7	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A9	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A10	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A11	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A12	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A13	Персональный компьютер	550	IBM совместимый, плата сбора информации PCI 6024E
A14	Индуктивная нагрузка	324.2	220/380 В; 50Гц; 3х40 Вар
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Тумблеры делителей напряжения коннектора A12 установите в положение «1:1» для всех входов, кроме ACH1-ACH9, который установите в положение «1:10». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора A12 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока A11 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей A4 и A8 установите в положение «АВТ.», выключателя A2 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блоков A3 и A6 выставьте равными 127/230 В. Параметры линий электропередачи A1 и A5 переключателями установите следующими: R = 0 Ом, L/R_L=0,3/8 Гн/Ом, C1=C2=0 мкФ. Выберите мощность активной нагрузки A7, например 80% от 50 Вт во всех трех фазах, индуктивной A14 – 40% от 40 Вар во всех трех фазах.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A13 и запустите прикладную программу «Автоматическое включение резерва».

Задайте уставки защиты и АРВ, нажав на соответствующую виртуальную кнопку . Например, используйте уставки по умолчанию.

Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей A2, A4, A8, блока A11 ввода-вывода цифровых сигналов, указателя частоты вращения P1.

Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

Включите выключатель A2 нажатием кнопки «ВКЛ» на его передней панели.

Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» .Смоделируйте исчезновение напряжения, отключив выключатель A2. Защита минимального напряжения должна отключить выключатель A4, после чего устройство АВР должно включить выключатель A8.

Отключите нагрузку A14 нажатием на виртуальную кнопку «Отключить все выключатели» .

Нажмите на виртуальную кнопку «Отобразить записанный процесс» и проанализируйте осциллограммы, а также информацию о последовательности произошедших событий.

При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.

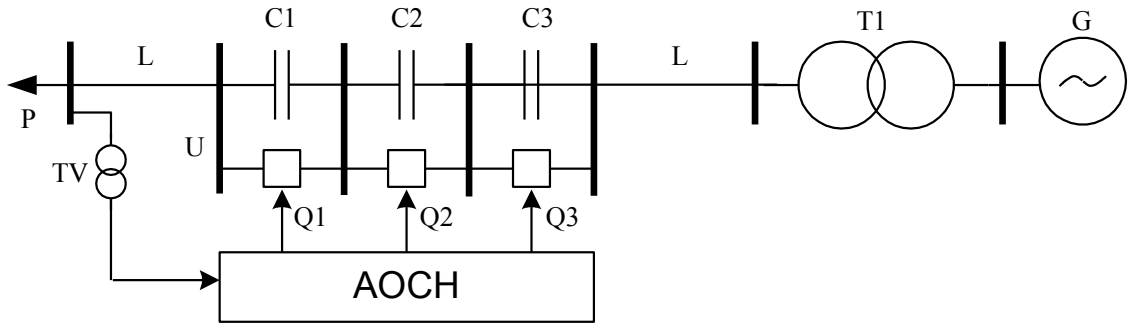
– Для удобства определения значений величин по графикам в нижней части экрана отображаются текущие координаты указателя мыши.
– Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков A2 , A4, A8, A11 и P1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №24

Автоматическое ограничение снижения напряжения включением устройства продольной емкостной компенсации линии электропередачи

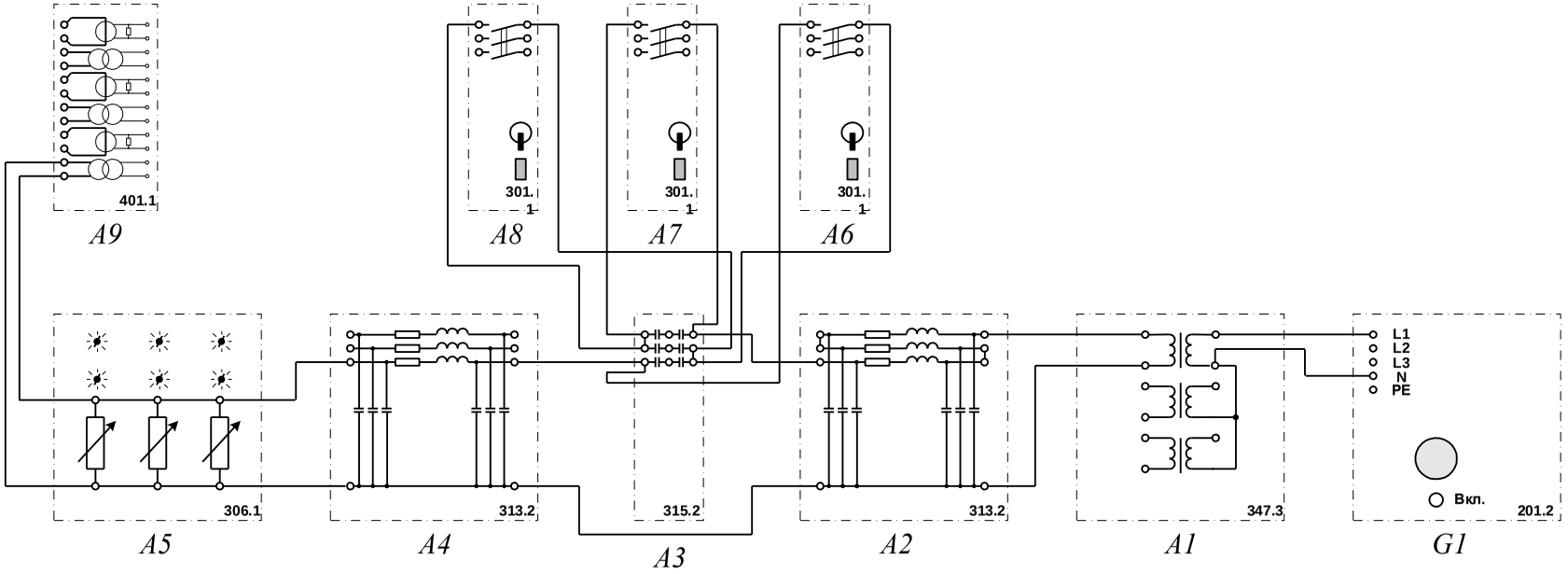
Общие сведения



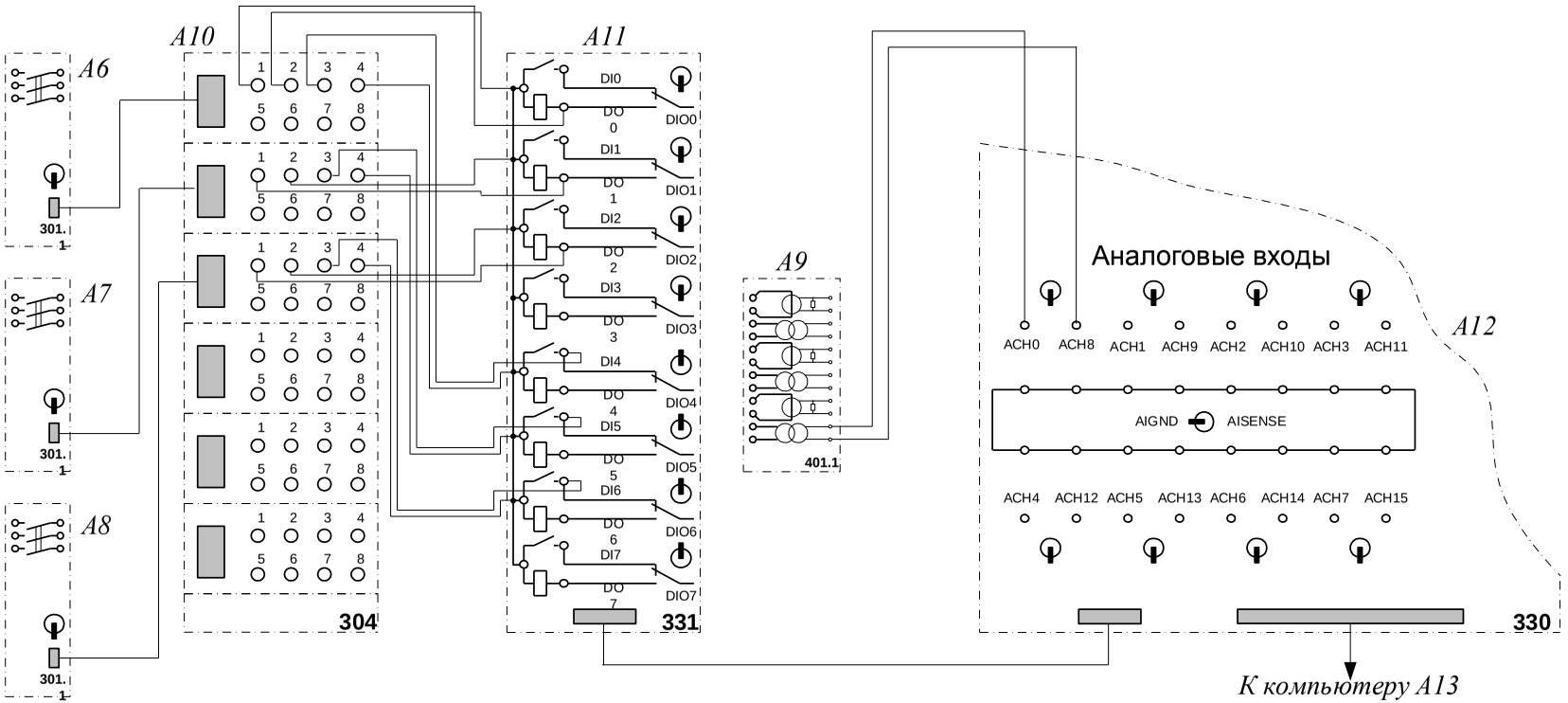
Снижение напряжения характерно для аварийного режима работы энергосистемы. Автоматика ограничения снижения напряжения в аварийном режиме существенно снижает вероятность развития общесистемной аварии вследствие лавины напряжения. В зависимости от конкретных условий работы и параметров энергосистемы автоматика ограничения снижения напряжения (АОСН) действует на отключение нагрузки, отключение реакторов поперечной компенсации, включение последовательно или отключение параллельно соединенных секций конденсаторов продольной компенсации линий электропередачи сверхвысокого напряжения.

В данной работе (см. рис.) специальной программой моделируется трехступенчатая автоматика ограничения снижения напряжения, воздействующая на отключение и включение по мере необходимости выключателей Q1-Q3. Имеется возможность задавать уставки напряжений срабатывания и возврата каждой из ступеней.

Электрическая схема соединений



Электрическая схема соединений (продолжение)



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 x 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A2, A4	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A3	Устройство продольной емкостной компенсации	315.2	400 В ~; 0,3 А
A5	Активная нагрузка	306.1	3×50 Вт
A6, A7, A8	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A9	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A10	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A11	Блок ввода-вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A12	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A13	Персональный компьютер	550	IBM совместимый, Windows XP, плата сбора информации PCI 6024E
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» трехфазного источника питания G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатель номинального фазного напряжения трехфазной трансформаторной группы А1 установите в положение 220 В. Все переключатели активной нагрузки А5 установите в положение «10». Параметры линии электропередачи А2 установите следующими: R = 0 Ом, L/R_L = 1,2 Гн / 32 Ом, С1=С2=0,18 мкФ, линии электропередачи А4 R = 0 Ом, L/R_L = 0,8 Гн / 3 Ом, С1=С2=0,18 мкФ.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей А6, А7, А8 установите в положение «АВТ.». Тумблеры делителей напряжения коннектора А12 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора А12 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока А11 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А13 и запустите программу «Автоматическое ограничение снижения напряжения включением устройства продольной емкостной компенсации линии электропередачи».

Включите выключатели «СЕТЬ» трехполюсных выключателя А6, А7, А8 и блока А11 ввода-вывода цифровых сигналов.

Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

Задайте уставки срабатывания и возврата ступеней автоматики. Например, оставьте уставки, заданные по умолчанию.

Запустите сбор данных, нажав для этого виртуальную кнопку «Запустить» ▶ или выбрав соответствующий пункт в меню «Действия».

Изменяйте величину активной нагрузки А5, вращая переключатели на ее передней панели. На экране монитора наблюдайте изменение напряжения на нагрузке и работу автоматики.

Измените уставки срабатывания и возврата ступеней автоматики. Измените параметры линий электропередачи А2 и А4. Измените вторичное номинальное напряжение трансформаторной группы А1. Измените количество конденсаторов в ступенях автоматики. Повторите эксперимент.

При работе с программой следует пользоваться её возможностями:

- Для удобства определения значений величин по графикам на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.

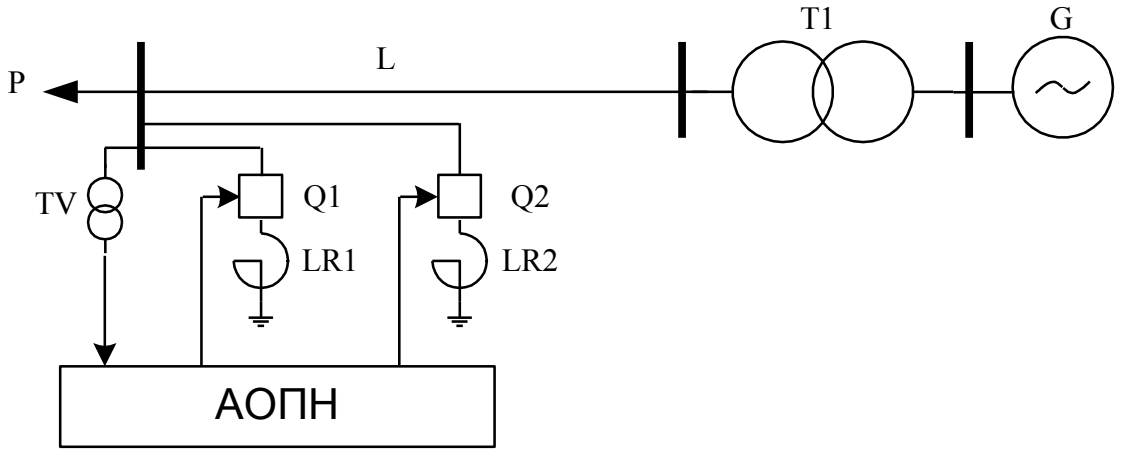
– Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на соответствующем объекте правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков A6, A7, A8, A11. Закройте программу «Автоматическое ограничение снижения напряжения включением устройства продольной емкостной компенсации линии электропередачи».

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №25

Автоматическое ограничение повышения напряжения включением шунтирующего реактора на конце линии электропередачи

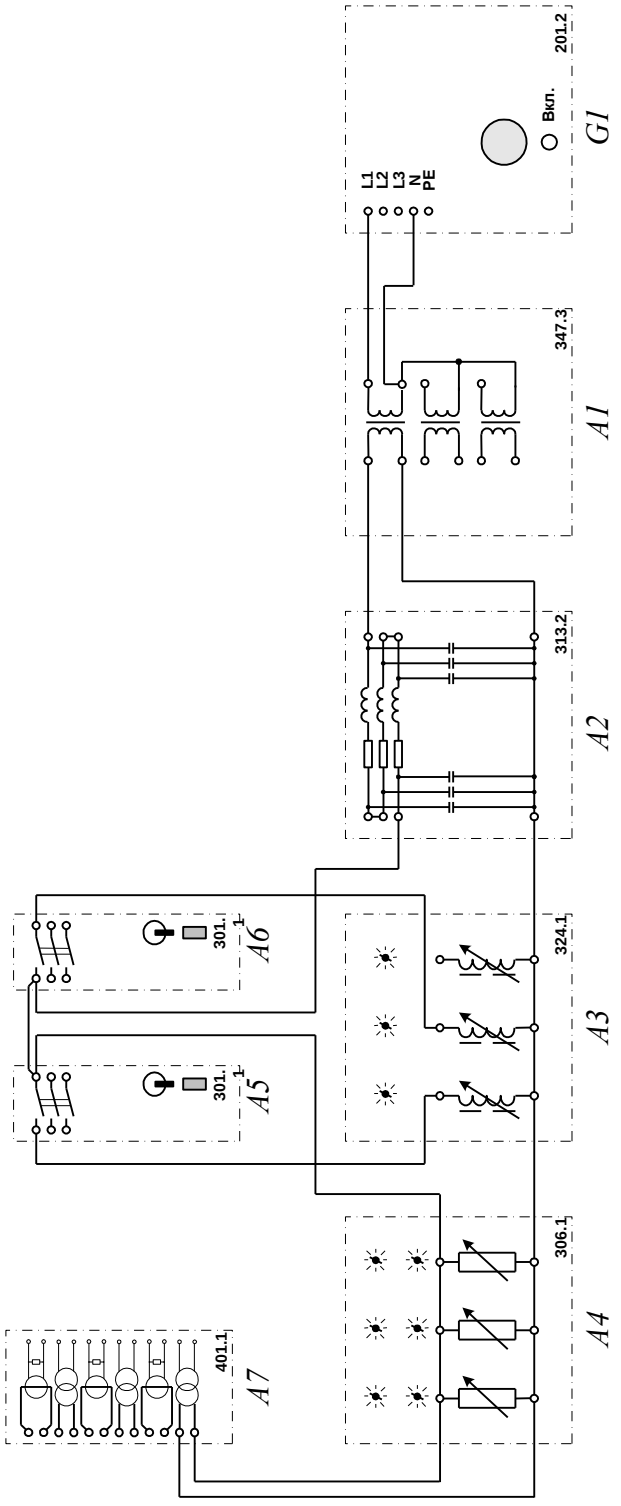
Общие сведения



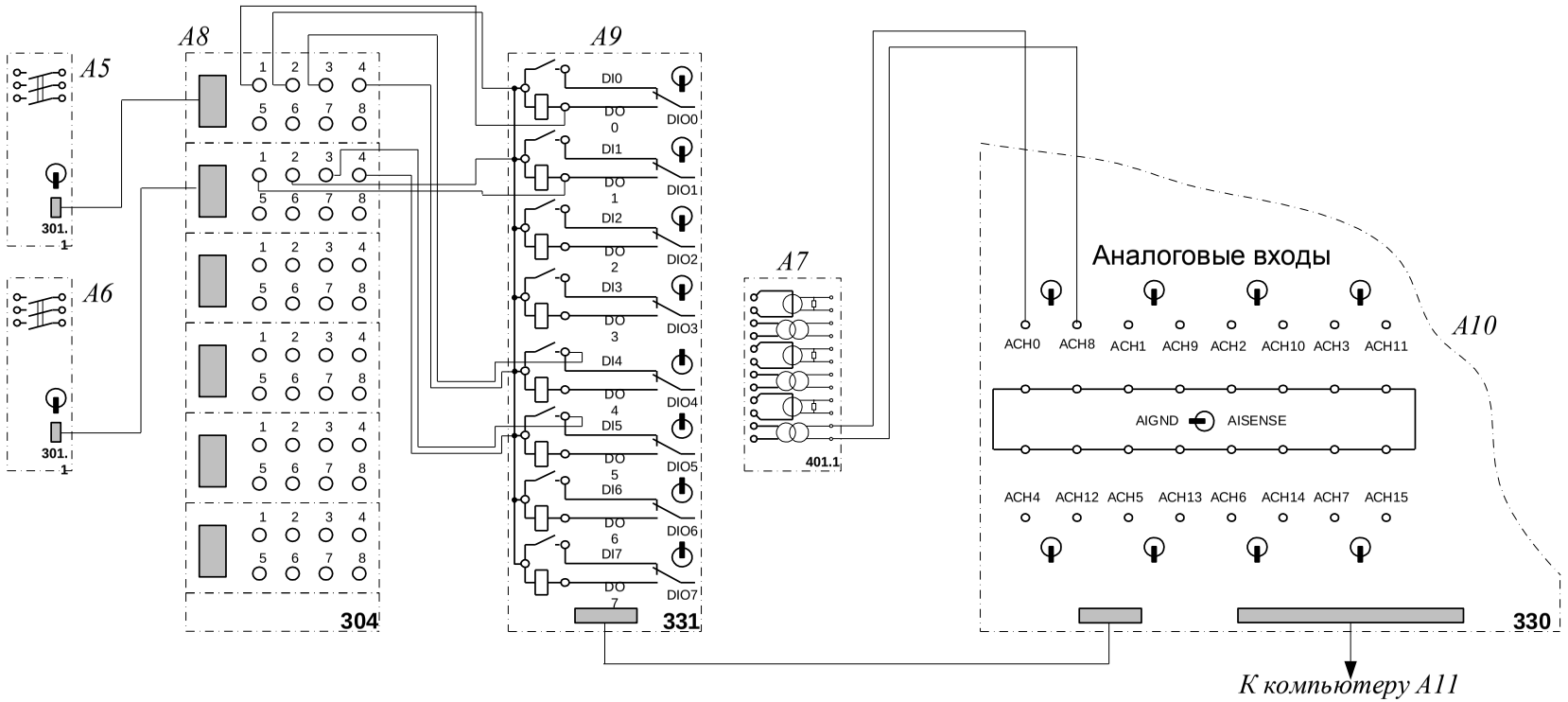
Повышение напряжения характерно для утяжеленного режима работы энергосистемы, развивающегося по мере уменьшения загрузки передаваемой активной мощностью магистральных линий высокого и сверхвысокого напряжений. Автоматика ограничения повышения напряжения снижает вероятность возникновения короткого замыкания в результате электрического пробоя изоляции. Снижение напряжения достигается быстродействующим включением компенсирующих реакторов, уменьшающих емкостную проводимость линии электропередачи.

В данной работе (см. рис.) специальной программой моделируется двухступенчатая автоматика ограничения повышения напряжения (АОПН), воздействующая на включение и отключение по мере необходимости выключателей Q1-Q2. Имеется возможность задавать уставки напряжений срабатывания и возврата каждой из ступеней.

Электрическая схема соединений



Электрическая схема соединений (продолжение)



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3 x 80 В·А; 220, 225, 230 (звезда) / 245, 240, 235, 230, 225, 220, 133 В
A2	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A3	Индуктивная нагрузка	324.2	3 × 0..40 ВАр
A4	Активная нагрузка	306.1	3×50 Вт
A5, A6	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A7	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A8	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A9	Блок ввода-вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A10	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A11	Персональный компьютер	550	IBM совместимый, Windows XP, плата сбора информации PCI 6024E
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда «ТК» трехфазного источника питания G1.

Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.

Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатель номинального фазного напряжения трехфазной трансформаторной группы А1 установите в положение 220 В. Все переключатели активной нагрузки А4 установите в положение «10». Параметры линии электропередачи А2 установите следующими: R = 0 Ом, L/R_L = 1,2 Гн / 32 Ом, С1=С2=0,18 мкФ. Переключатели индуктивной нагрузки А3 установите в положение «25» - в левой (по схеме) фазе, «50» - в средней.

Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей А5 и А6 установите в положение «АВТ.». Тумблеры делителей напряжения коннектора А10 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора А10 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока А9 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А11 и запустите программу «Автоматическое ограничение повышения напряжения включением шунтирующего реактора».

Включите выключатели «СЕТЬ» трехполюсных выключателя А5, А6 и блока А9 ввода-вывода цифровых сигналов.

Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

Задайте уставки срабатывания и возврата ступеней автоматики. Например, оставьте уставки, заданные по умолчанию.

Запустите сбор данных, нажав для этого виртуальную кнопку «Запустить» ▶ или выбрав соответствующий пункт в меню «Действия».

Изменяйте величину активной нагрузки А4, вращая переключатели на ее передней панели. На экране монитора наблюдайте изменение напряжения на нагрузке и работу автоматики.

Измените уставки срабатывания и возврата ступеней автоматики. Измените параметры линии электропередачи А2. Измените вторичное номинальное напряжение трансформаторной группы А1. Измените величины фаз индуктивной нагрузки. Повторите эксперимент.

При работе с программой следует пользоваться её возможностями:

- Для удобства определения значений величин по графикам на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.

– Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на соответствующем объекте правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.

По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков A5, A6, A9. Закройте программу «Автоматическое ограничение повышения напряжения включением шунтирующего реактора».

Контрольные вопросы

1. Какого назначение Р.З.?
2. Что является повреждением в системах электроснабжения?
3. Что такое короткое замыкание?
4. Что относится к ненормальным режимам работы в системах электроснабжения?
5. Каковы основные требования предъявляемые к Р.З.?
6. Каковы основные виды Р.З.?
7. Принцип действия М.Т.З.?
8. Каковы недостатки М.Т.З.?
9. Принцип действия Т.О.?
10. Каковы недостатки защиты с помощью плавких предохранителей и автоматических воздушных выключателей?
11. Принцип действия дифференциальной токовой защиты?
12. Что такое мертвая зона?
13. Что такое выдержка времени?
14. Что такое селективность Р.З.
15. Когда применяется поперечная дифференциальная защита?
16. Каковы преимущества дифференциальной защиты?
17. Что такое дистанционная защита?
18. Когда применяется дистанционная защита?
19. Какой вид Р.З. применяют для защиты трансформатора?
20. Перечислить все основные требования, предъявляемые к защите трансформатора?
21. Перечислить все основные требования, предъявляемые к защите электродвигателям?
22. Что понимается под автоматическим управлением?
23. Перечислить все основные требования, предъявляемые к устройствам автоматического управления?
24. Каковы основные требования к схемам (устройствам)АПВ?
25. Каковы основные требования к устройствам АВР?

Рекомендуемая литература

Основная литература:

1. Ромаш, Э.М. Электронные устройства информационных систем и автоматики: учебник/ Э. М. Ромаш, Н. А. Феоктистов, В. В. Ефремов- М.: ИТК "Дашков и К°", 2009. - 0/ 4 экз.
2. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы: ред.: В. Г. Герасимов [и др.]- М.: Издательский дом МЭИ, 2007. - 0/ 2 экз.
3. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства: ред.: В. Г. Герасимов [и др.]- М.: Издательский дом

Дополнительная литература:

1. Грушвицкий, Р.И. Проектирование систем на микросхемах с программируемой структурой: Р. И. Грушвицкий, А. Х. Мурсаев, Е. П. Угрюмов- СПб.: БХВ-Петербург, 2006. - 11/ 0 экз.
2. МЭИ, 2007. - 0/ 2 экз.
3. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии: ред.: В. Г. Герасимов [и др.]- М.: Издательский дом МЭИ, 2009. - 0/ 2 экз.
4. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 4. Использование электрической энергии: ред.: В. Г. Герасимов [и др.]- М.: Издательство МЭИ, 2011. - 0/ 2 экз.