

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

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г.Локтионова  
2017 г.



**ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов всех форм обучения направления подготовки  
Электроэнергетика и электротехника

Курск 2017

Составитель канд. техн. наук, доцент В.Н. Алябьев

УДК 621.311  
М 54

Рецензент

Канд.техн.наук, доцент кафедры «Электроснабжения»  
О.М.Ларин

Переходные процессы в электроэнергетических системах  
[Текст]: Методические указания к лабораторным работам/ Юго-  
Зап. гос. ун-т; сост. В.Н.Алябьев. Курск, 2017. с. 37.

Предназначены для студентов всех форм обучения направле-  
ния подготовки Электроэнергетика и электротехника.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. . Уч.-изд.л. . Тираж 100 экз. Заказ. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение.....	4
Описание электромашинного агрегата.....	5
Технические характеристики электромашинного агрегата.....	5
Машина переменного тока - синхронная (тип 102.1).....	5
Преобразователь угловых перемещений (тип 104).....	6
Маховик (тип 105.1).....	6
Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра.....	11
Многоканальный осциллограф.....	12
Краткое описание программы.....	12
Работа с программой.....	14
Лабораторная работа №1	
Исследование симметричного короткого замыкания.....	16
Общие сведения.....	16
Порядок выполнения работы.....	20
Контрольные вопросы.....	22
Лабораторная работа № 2	
Исследование несимметричных коротких замыканий.....	23
Общие сведения.....	23
Порядок выполнения работы.....	25
Контрольные вопросы.....	27
Лабораторная работа № 3	
Исследование коротких замыканий в узлах нагрузки с собственной генерацией.....	28
Общие сведения.....	28
Порядок выполнения работы.....	34
Контрольные вопросы.....	36
Библиографический список.....	37

## Введение

В методических указаниях описаны лабораторные работы по курсу «Переходные процессы в электроэнергетических системах», выполняемые на учебном лабораторном комплексе «Модель электрической системы». В ходе их воспроизводятся электромагнитные и электромеханические процессы в электрической системе, имеющие место при возникновении различных коротких замыканий.

Аппаратная часть комплекса выполнена по блочному (модульному) принципу и содержит:

спроектированные с учебными целями натурные аналоги элементов электрической системы;

источники питания;

измерительные преобразователи и приборы;

IBM-совместимый персональный компьютер со встроенной платой сбора информации фирмы National Instruments.

Питание модели осуществляется от трехфазной электрической сети напряжением 380 В с нейтральным и защитным проводниками.

Программная часть комплекса включает:

программную среду персонального компьютера (Windows XP);

разработанные с помощью программной среды LabVIEW виртуальный многоканальный записывающий осциллограф.

Электробезопасность обеспечена выполнением элементов классом защиты от поражения электрическим током 01 и I, а также применением устройства защитного отключения.

На комплексе может активно работать творческая бригада из 3–5 студентов.

## Описание электромашинного агрегата

Электромашинный агрегат предназначен для электромеханического преобразования энергии. Он включает спаренные между собой и установленные на едином основании:

- машину постоянного тока;
- машину переменного тока;
- маховик;
- преобразователь угловых перемещений.

Концы обмоток машин постоянного и переменного тока выведены через гнезда на терминальные панели, прикрепленные к их корпусам. Машина переменного тока снабжена термоконтактом, размыкающимся при нагреве машины выше 70°C. Концы термоконтакта через гнезда выведены на терминальную панель машины переменного тока и используются в схеме тепловой защиты машины переменного тока. Направление вращения электромашинного агрегата – любое.

### Технические характеристики электромашинного агрегата

Номинальная мощность, Вт.....	90
Номинальное напряжение якоря, В.....	220
Номинальный ток якоря, А.....	0,76
Номинальная частота вращения, мин <sup>-1</sup> .....	500
Возбужде- ние.....	независимое
Номинальное напряжение возбуждения, В.....	220
КПД, % .....	64
Направление вращения.....	любое
Масса, кг.....	3

### Машина переменного тока - синхронная (тип 102.1)

Число фаз на статоре.....	3
Число фаз на роторе.....	3
Номинальная активная мощность, Вт.....	50
Номинальное напряжение, В.....	230

Схема соединения обмоток статора.....	У
$\cos\varphi_H$ .....	1
Номинальный ток статора, А.....	0,13
Ток возбуждения холостого хода, А.....	1,4
Номинальное напряжение возбуждения, В.....	20
Номинальный ток возбуждения, А.....	1,5
Направление вращения.....	любое
Номинальная частота вращения, мин <sup>-1</sup> .....	1500

### Преобразователь угловых перемещений (тип 104)

Тип.....	BE 178A5
Количество выходных каналов.....	6
Выходные сигналы.....	серия импульсов и опорный импульс
Число импульсов за оборот в серии.....	1000
Пределы изменения рабочих частот вращения вала, мин <sup>-1</sup> ..	0...6000

### Маховик (тип 105.1)

Момент инерции, н·м·с <sup>2</sup> .....	0,009
Масса, кг, не более.....	7

## Описание и технические характеристики функциональных блоков

Таблица 1

Наименование и описание 1	Параметры 2	Тип 3
<b>Трехфазный источник питания</b> Предназначен для питания комплекса трехфазным переменным напряжением. Включается вручную. Имеет защиту от перегрузок, устройство защитного отключения, кнопку аварийного отключения и ключ от несанкционированного включения.	400 В ~; 16 А Ток срабатывания УЗО – 30 мА	201.2

Продолжение табл. 1

1	2	3
<p><b>Источник питания двигателя постоянного тока</b> Предназначен для питания обмоток якоря и возбуждения постоянным током. Включается вручную или дистанционно / автоматически от ПЭВМ. Якорное напряжение регулируется вручную или дистанционно (от ПЭВМ). Напряжение возбуждения постоянное.</p>	<p>Цепь якоря 0...250 В –; 3 А Цепь возбуждения 200 В –; 1 А</p>	206.1
<p><b>Возбудитель машины переменного тока</b> Предназначен для питания обмотки возбуждения. Включается и регулируется вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ). Выходные цепи изолированы от входных.</p>	<p>0...40 В –; 3,5 А</p>	209.2
<p><b>Трехполюсный выключатель</b> Предназначен для ручного или дистанционного / автоматического (от ПЭВМ) включения / отключения электрических цепей.</p>	<p>400 В ~; 10 А</p>	301
<p><b>Терминал</b> Предназначен для обеспечения удобного доступа к входам / выходам управления функциональных блоков.</p>	<p>6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд</p>	304
<p><b>Активная нагрузка</b> Предназначена для моделирования однофазных и трехфазных потребителей активной мощности. Регулируется вручную.</p>	<p>220/380 В; 50Гц; 3×0...50 Вт;</p>	306.1
<p><b>Коннектор</b> Предназначен для обеспечения удобного доступа к входам / выходам платы сбора данных PCI 6024E персонального компьютера.</p>	<p>8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/выходов</p>	330

Продолжение табл. 1

1	2	3
<p><b>Источник питания двигателя постоянного тока</b> Предназначен для питания обмоток якоря и возбуждения постоянным током. Включается вручную или дистанционно / автоматически от ПЭВМ. Якорное напряжение регулируется вручную или дистанционно (от ПЭВМ). Напряжение возбуждения постоянное.</p>	<p>Цепь якоря 0...250 В –; 3 А Цепь возбуждения 200 В –; 1 А</p>	206.1
<p><b>Возбудитель машины переменного тока</b> Предназначен для питания обмотки возбуждения. Включается и регулируется вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ). Выходные цепи изолированы от входных.</p>	<p>0...40 В –; 3,5 А</p>	209.2
<p><b>Трехполюсный выключатель</b> Предназначен для ручного или дистанционного / автоматического (от ПЭВМ) включения / отключения электрических цепей.</p>	<p>400 В ~; 10 А</p>	301
<p><b>Терминал</b> Предназначен для обеспечения удобного доступа к входам / выходам управления функциональных блоков.</p>	<p>6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд</p>	304
<p><b>Активная нагрузка</b> Предназначена для моделирования однофазных и трехфазных потребителей активной мощности. Регулируется вручную.</p>	<p>220/380 В; 50Гц; 3×0...50 Вт;</p>	306.1
<p><b>Коннектор</b> Предназначен для обеспечения удобного доступа к входам / выходам платы сбора данных PCI 6024E персонального компьютера.</p>	<p>8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/выходов</p>	330

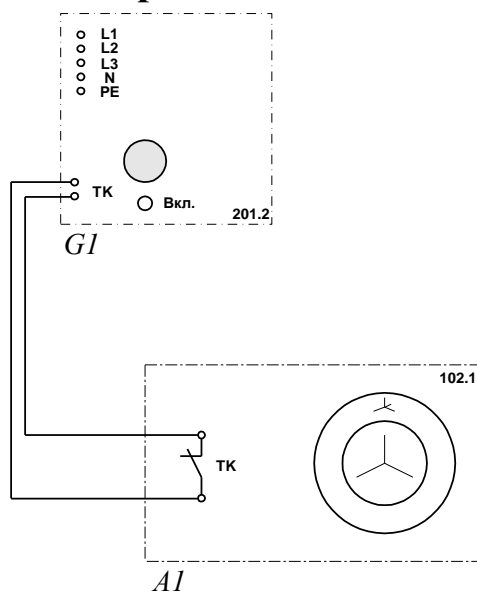


Продолжение табл. 1

1	2	3
<p><b>Блок ввода /вывода цифровых сигналов</b> Предназначен для ввода сигналов типа «сухой контакт» и вывода сигналов через контакты промежуточного реле</p>	<p>8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов</p>	<p>333.1</p>
<p><b>Персональный компьютер</b> Предназначен для автоматического управления лабораторным комплексом и отображения информации о нем.</p>	<p>IBM-совместимый Windows 9*, плата PCI 6024E</p>	<p>310</p>
<p><b>Модель линии электропередачи</b> Предназначена для моделирования ЛЭП переменного тока как цепи с сосредоточенными параметрами</p>	<p>400 В~; 3x0,5 А 0...1,5Гн/ 0...50 Ом 0...2x0,45 мкФ 0...250 Ом</p>	<p>313.2</p>
<p><b>Линейный реактор</b> Предназначен для моделирования продольной индуктивности электрической сети</p>	<p>220/380 В; 50 Гц; 0,3 А; 0,3 Гн/10 Ом</p>	<p>314.1</p>
<p><b>Емкостная нагрузка</b> Предназначена для моделирования опережающей реактивной мощности в электрической системе</p>	<p>220/380 В; 50 Гц; 3x40 ВАр</p>	<p>317.2</p>
<p><b>Индуктивная нагрузка</b> Предназначена для моделирования потребителя отстающей реактивной мощности в электрической системе</p>	<p>220/380 В; 50Гц; 3x40 ВАр</p>	<p>324.2</p>
<p><b>Трехфазная трансформаторная группа</b> Предназначена для преобразования однофазного / трехфазного напряжений.</p>	<p>3 x 80 В·А; 230 (звезда) / 242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 В</p>	<p>347.1</p>

1	2	3
<p><b>Трехфазная трансформаторная группа</b> Предназначена для преобразования однофазного / трехфазного напряжений.</p>	<p>3 x 80 В·А; 242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 / 230 В (треугольник)</p>	347.2
<p><b>Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения</b> Предназначен для получения нормированных сигналов, пропорциональных синусоидальным напряжениям и токам в силовых цепях.</p>	<p>3 трансформатора напряжения 600 / 3 В; 3 трансформатора тока 0,3А / 3 В</p>	401.1
<p><b>Блок мультиметров</b> Предназначен для измерения токов, напряжений, активного сопротивления. В состав блока входят два цифровых мультиметра с жидкокристаллическим дисплеем.</p>	<p>0...1000 В <math>\approx</math>; 0...10 А <math>\approx</math>; 0...20 Мом</p>	509.2
<p><b>Блок синхронизации</b> Предназначен для ручного или автоматического подключения к сети трехфазного синхронного генератора.</p>	<p>220 В~; 10 А; синхроноскоп; 3 индикаторные лампы</p>	319

### Электрическая схема соединений тепловой защиты машины переменного тока



## Перечень аппаратуры

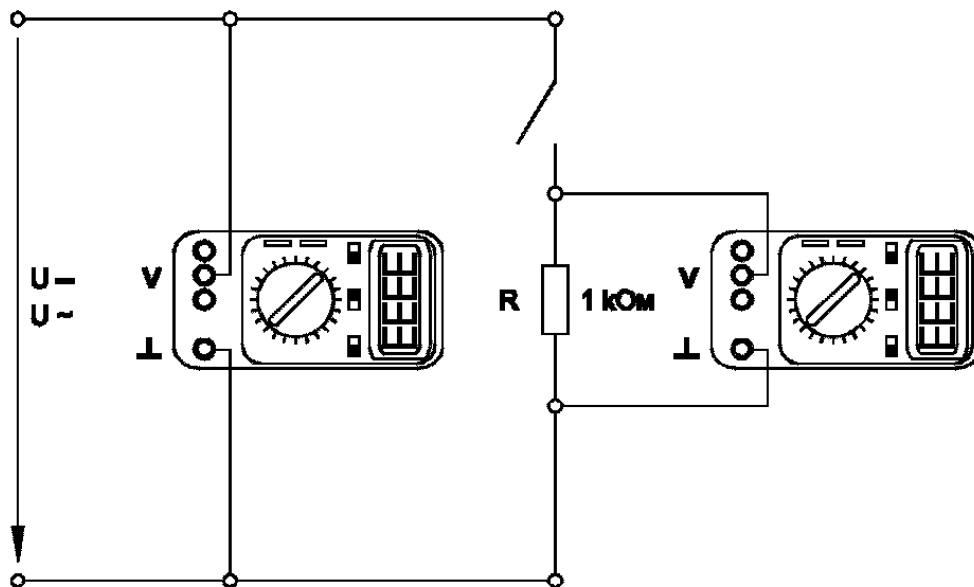
Таблица 2

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	Машина переменного тока	102.1	50 Вт, 220 В 1500 мин <sup>-1</sup>
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А

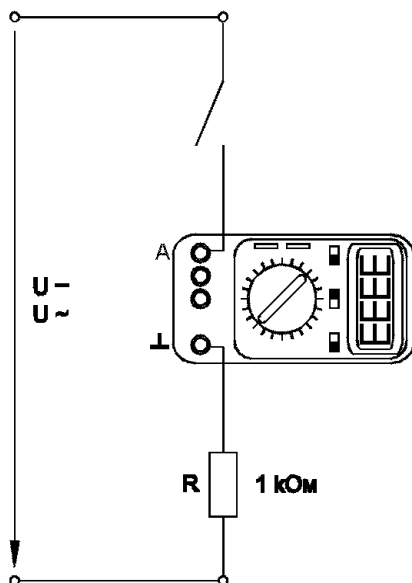
### Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мультиметр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

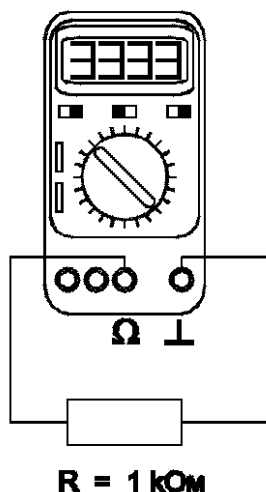
- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к измеряемой цепи.



*Присоединение мультиметра как вольтметра*



*Присоединение мультиметра как амперметра*



*Присоединение мультиметра как омметра*

### **Многоканальный осциллограф**

#### **Краткое описание программы**

Осциллограф имеет четыре одинаковых канала, каждый из которых может быть сопоставлен с любым физическим каналом аналогового ввода платы. Каждый из каналов осциллографа может быть включен или выключен, иметь свой собственный коэффициент деления, быть «прямым» или «инверсным», иметь «открытый» или «закрытый» вход (т.е. сохранять или отрезать постоянную составляющую сигнала). Кроме того, сигнал любого канала можно

«сгладить» (применяется для наблюдения зашумленных осциллограмм), отобразить определенным цветом, сдвинуть по вертикали.

Синхронизации картинки на экране осциллографа осуществляется частотой питающей сети (кнопка «50 Гц»). В этом режиме частоту синхронизации можно менять в небольших пределах, нажимая на кнопки с красными стрелками.

По оси времени картинку на экране осциллографа можно растянуть или сжать, задавая тот или иной масштаб по горизонтали, а также сдвинуть вправо или влево соответствующим движком.

В любой момент сканирование аналоговых каналов можно остановить, картинка на экране осциллографа «заморозится». После этого осциллограммы можно также масштабировать, менять цвета линий и пр.

Осциллограф может работать также в режиме XY. В этом случае можно задать номера каналов, сопоставленных с осями X и Y, а также цвет отображаемой линии.

Осциллограф можно использовать в режиме запоминания, для чего в окне «Параметры» должна быть поставлена соответствующая галочка. В этом случае программа во время сканирования будет непрерывно сохранять данные в циклический буфер. Его содержимое можно отобразить *после остановки сканирования*.

Программа позволяет сохранять осциллограммы в файлы. Сохранение может быть произведено двумя способами – в текстовый файл или в файл собственного формата \*.osc. В первом случае в созданном файле будет находиться таблица значений точек каналов, которую можно затем экспортировать в Excel. Во втором случае в сохраненном файле будет содержаться информация об осциллограммах, о положениях органов управления и пр. Сохраненный файл можно снова загрузить в «Осциллограф» и выполнять все те же действия, что и с «замороженной» осциллограммой.

«Многоканальный осциллограф» может гибко настраиваться на определенную скорость сканирования и нужное быстродействие. *Частота сканирования* должна находиться в пределах 1000 – 50000 герц. Если заведомо известно, что сигналы – синусоиды, то частоту сканирования можно задать относительно низкую.

*Частоту обновления осциллограмм* нужно устанавливать в пределах 5 – 50 Гц. При этом необходимо иметь в виду, что если

частота сканирования, деленная на частоту обновления осциллограмм, не кратна 50 герцам, то режим синхронизации «50 Гц» работать не будет.

На графиках осциллографа отображается каждая  $N$ -ная точка. Число  $N$  задается в пределах от 1 до 10. Чем выше  $N$ , тем менее подробно строятся графики и тем меньше загружается система.

Опцию «*Запоминать последние  $N$  секунд процесса*» нужно устанавливать в пределах 1-20 секунд. Опцию «*Отображать каждую  $N$ -ную точку*» (на вкладке «Запоминание») - в пределах от 1 – 10. Чем больше время запоминания, тем больше используется оперативная память компьютера и тем дольше отображается запомненный процесс. Чем больше число  $N$ , тем менее подробно и более быстро происходит отображение.

Для некоторого увеличения общего быстродействия программы рекомендуется отключать режим запоминания.

### **Работа с программой**

Ниже перечислены неочевидные возможности интерфейса программы, а также некоторые замечания.

- Двойным щелчком мыши можно устанавливать в ноль регуляторы смещения картинка по горизонтали и по вертикали.
- Щелчок мыши на осях графика вызывает окно настройки соответствующей оси.
- 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 на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
- Регулятор уровня синхронизации проградуирован *в единицах графика*.
- Делители напряжения каналов и временной делитель проградуированы по отношению *к одной единице* графика (напри-

мер, положение 500 мВ означает, что одна единица (не клетка!) графика соответствует 500 мВ).

- Параметры сканирования по умолчанию можно установить, выбрав соответствующий пункт меню «Настройка».
- Аналогичным образом можно вернуть все органы управления в исходное положение.
- Цвет того или иного графика можно выбрать, щелкнув «мышкой» по соответствующей кнопке выбора цвета.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### Исследование симметричного короткого замыкания

Цель работы: изучение методики расчета трехфазного короткого замыкания на учебном лабораторном комплексе «Модель электрической системы»; получение навыков определения токов и напряжений при трехфазных коротких замыканиях.

#### Общие сведения

Определение токов трехфазного короткого замыкания является одной из первоочередных задач, решаемых как на стадии проектирования, так и при эксплуатации систем электроснабжения. Применение физических моделей значительно облегчает расчеты и открывает большие возможности для широкой вариации исходных условий.

В настоящей лабораторной работе исследуются переходные процессы при трёхфазном коротком замыкании, возникающем на шинах нагрузки системы электроснабжения. Нагрузка, представленная активными и индуктивными сопротивлениями, запитывается от проходной подстанции энергосистемы двумя воздушными линиями (рис. 1.1). Трёхфазное короткое замыкание моделируется автоматическим выключателем с замкнутыми контактами.

Фазные токи и напряжения через трансформаторы тока и напряжения подаются на аналоговые входы коннектора, связанного с персональным компьютером. Регистрация переходного процесса осуществляется с помощью многоканального осциллографа.

Электрическая схема соединений рассматриваемой системы электроснабжения представлена на рис. 1.2. На рис. 1.3 показана электрическая схема подключения регистрирующей аппаратуры.

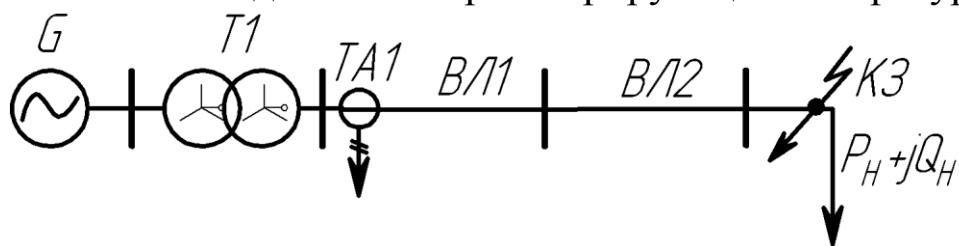


Рис. 1.1 Исследуемая схема системы электроснабжения



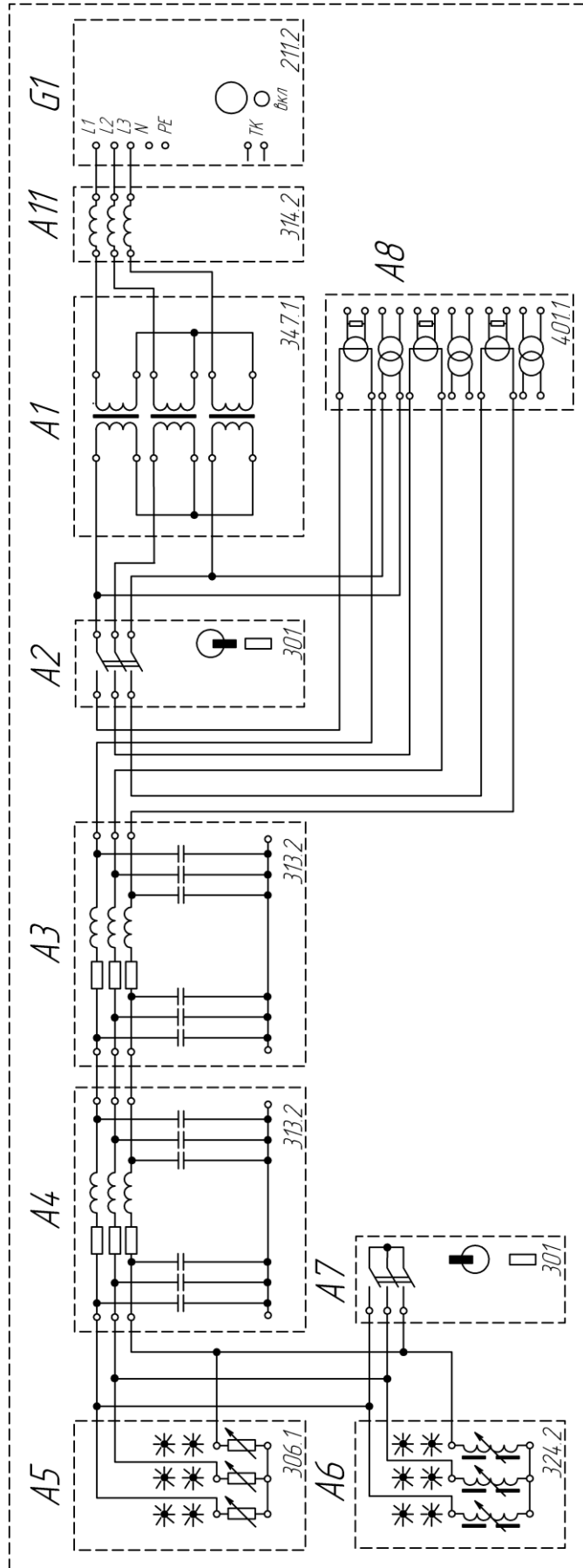


Рис.1.2 Электрическая схема соединений

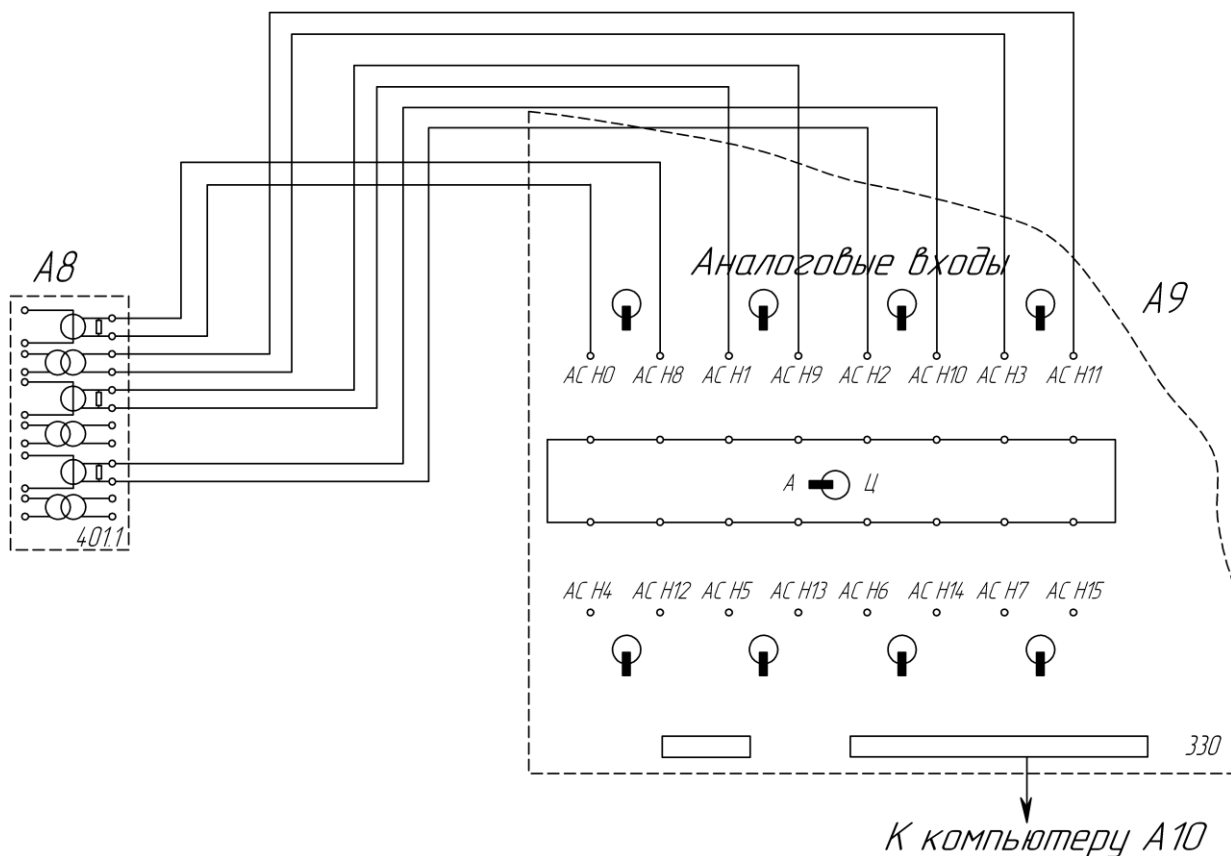


Рис 1.3 Электрическая схема подключения осциллографа

## Перечень аппаратуры


Таблица 3

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.1	3 x 80 В·А; 230 (звезда) / 242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 В
A2, A7	Трехполюсный выключатель	301	400 В ~; 10 А
A3, A4	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 x 0,5 А
A5	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3x0...50 Вт;

Окончание табл. 3

A6	Индуктивная нагрузка	324.2	220/380 В; 50Гц; 3x40 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)
A9	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A10	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, Windows XP, монитор, мышь, клавиатура, плата сбора информации PCI 6024E
A11	Линейный реактор	314.2	220/380 В; 50 Гц; 0,5 А; 0,3 Гн/10 Ом

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда «ТК» источника G1.
3. Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
5. Переключатель режимов работы трехполюсных выключателей A2 и A7 установите в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока A1 выставьте равными 230/133 В. Параметры линий электропередачи A3 и A4 переключателями установите следующими:  $R = 200 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$ ,  $C1=C2=0,15 \text{ мкФ}$ . Выберите мощность активной нагрузки A5 60% от 50 Вт во всех трех фазах.
6. Смоделируйте трёхфазное короткое замыкание, соединив клеммы K1 –K3 выключателя A7 между собой.
7. Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
8. Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей A2 и A7. Включите выключатель A2.
9. Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A10, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «Многоканальный осциллограф».
10. Нажмите на виртуальную кнопку «Начать запись». После этого смоделируйте замыкание, включив выключатель A7. Нажмите виртуальную кнопку «Сквитировать», отключите выключатель A7, проанализируйте появившиеся на экране осциллограммы.
11. 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.

- Точные значения любых времен следует определять по осциллограмме.

- 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) можно изменять в пункте меню «Настройки». Например, для того, чтобы увидеть предаварийный режим, режим короткого замыкания и режим после отключения повреждения длину буфера в целом можно принять равной 1 секунде, а длину эпилога (по сути, это длина записи режима после отключения КЗ) – 0,5 секунды.

12. По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А2 и А7.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите причины возникновения КЗ и их последствия в электроустановках.
2. Зависит ли точность расчета от выбора базисных единиц?
3. Что называют переходной и сверхпереходной ЭДС? Каковы их характерные свойства?
4. Что понимают под обобщенной нагрузкой? Как оценивают ее параметры в начальный момент к.з.?
5. Что понимают под мощностью к.з.?
6. Каков аналитический метод расчета начальных токов трехфазного к.з.?
7. Что называют к.з.?
8. Для чего необходим расчет тока трехфазного к.з.?
9. Для чего вводится система относительных единиц?
10. Как выбирается базисное напряжение и мощность?
11. Каковы достоинства расчета токов к.з. на модели?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### **Исследование несимметричных коротких замыканий**

Цель работы: изучение методики и получение навыков моделирования режимов работы электрических систем при однократной поперечной несимметрии на учебном лабораторном комплексе «Модель электрической системы».

#### **Общие сведения**

Анализ и расчет несимметричных режимов работы необходим при проектировании и настройке устройств релейной защиты и автоматики.

В настоящей работе исследуются несимметричные режимы, относящиеся к поперечной несимметрии, а именно: двухфазное, двухфазное на землю и однофазное короткие замыкания. При этом считают, что рассматривается металлическое короткое замыкание.

По данным статистики до 85% коротких замыканий являются замыканиями на землю. В связи с этим большую роль при исследовании и расчете данных режимов играет режим работы нейтралей трансформаторов.

В системах с незаземленными нейтральями или с нейтральями, заземленными через специальные компенсирующие устройства, замыкание одной из фаз на землю называют простым замыканием. При этом виде повреждения прохождение тока обусловлено главным образом емкостью фаз относительно земли. Указанный режим работы нейтрали характерен для распределительных сетей 6, 10 и 35 кВ, называемых также сетями с малыми токами замыкания на землю.

Исследование проводится применительно к схеме, представленной на рис.1.1 предыдущей лабораторной работы.

Различные виды замыканий моделируются соответствующим замыканием контактов автоматического выключателя А7.

Изменения, внесённые в электрические схемы соединений и подключения осциллографа (рис.1.2 и 1.3) представлены на рис.2.1.

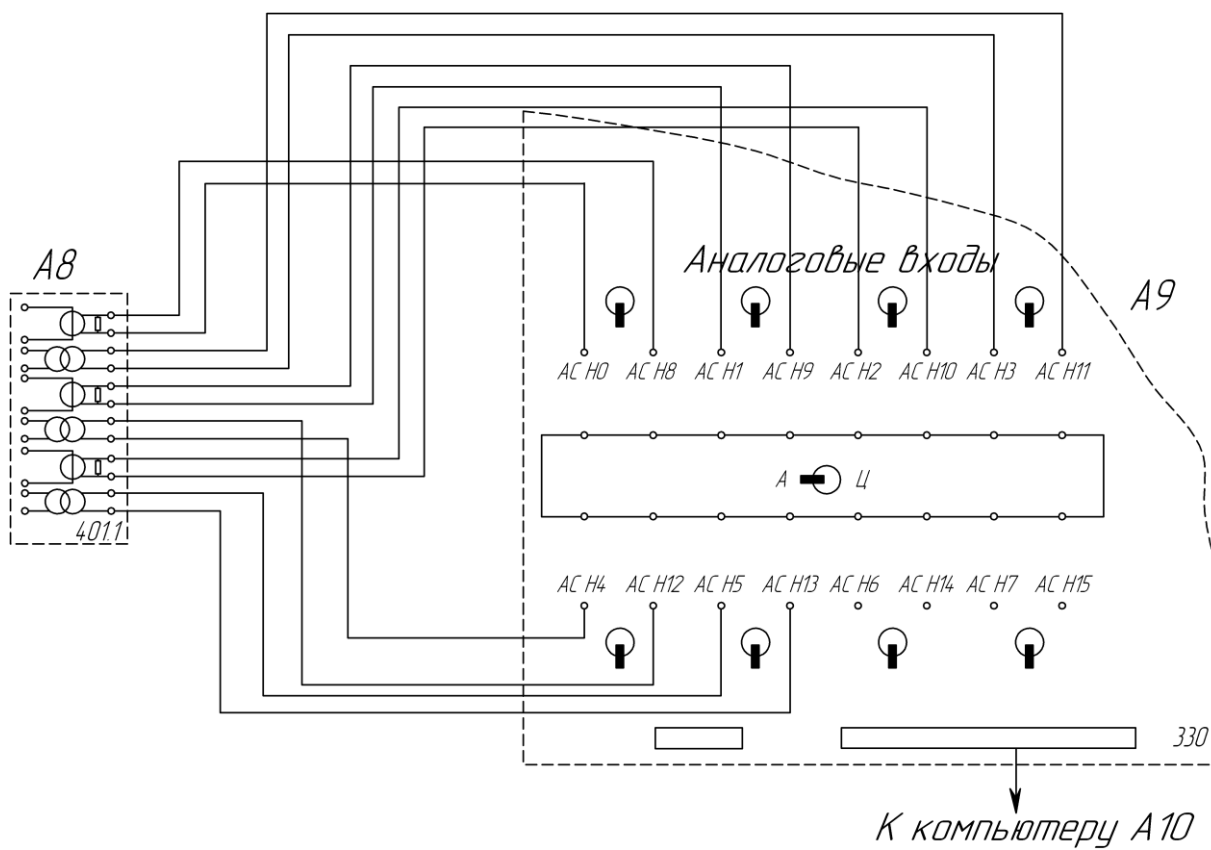
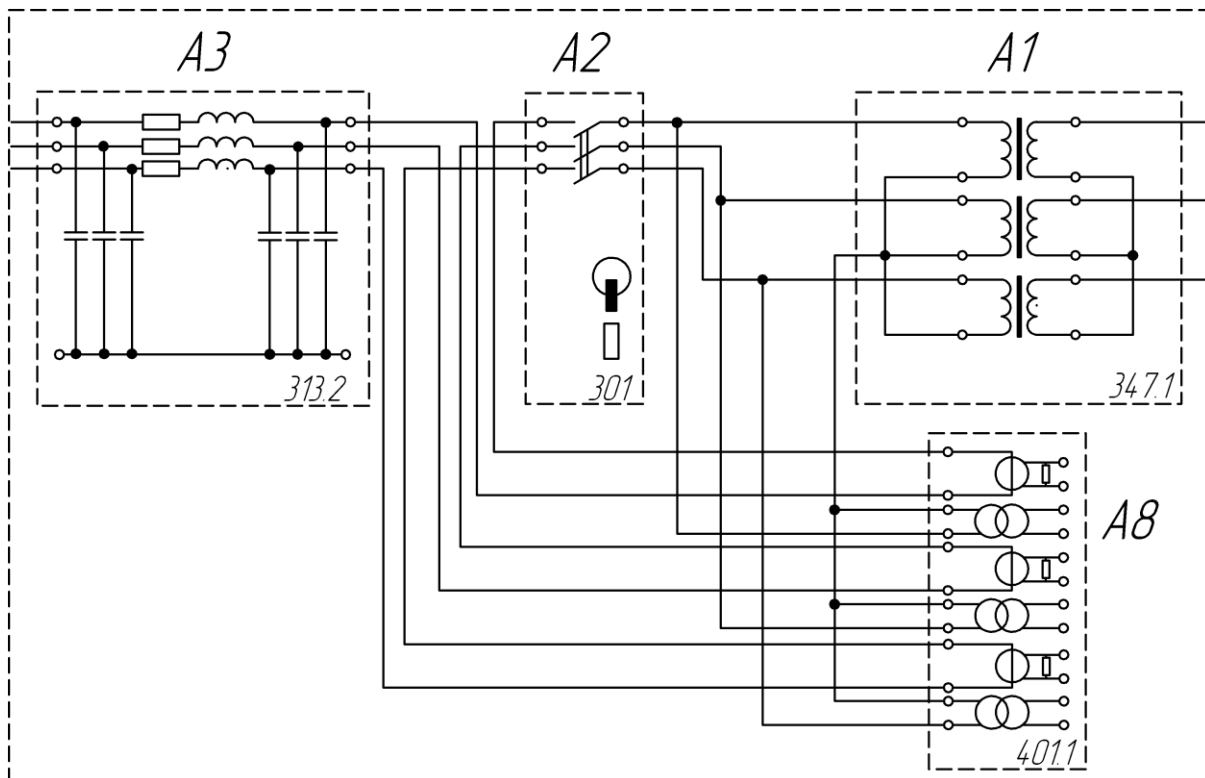



Рис.2.1 Изменения в электрической схеме соединений



## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда «ТК» источника G1.
3. Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
5. Переключатель режимов работы трехполюсных выключателей А2 и А7 установите в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока А1 выставьте равными 230/133 В. Параметры линий электропередачи А3 и А4 переключателями установите следующими:  $R = 200 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$ ,  $C1=C2=0,15 \text{ мкФ}$ . Выберите мощность активной нагрузки А5 60% от 50 Вт во всех трех фазах.
6. Смоделируйте различные виды коротких замыканий, соединив соответствующим образом клеммы К1 –К3 выключателя А7 между собой. Режим работы нейтрали моделируется переключкой, соединяющей нейтрали разделительного трансформатора и линий.
7. Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
8. Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей А2 и А7. Включите выключатель А2.
9. Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А10, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «Многоканальный осциллограф».
10. Нажмите на виртуальную кнопку «Начать запись». После этого смоделируйте замыкание, включив выключатель А7. Нажмите виртуальную кнопку «Сквитировать», отключите выключатель А7, проанализируйте появившиеся на экране осциллограммы.
11. При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:
  - Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, пере-

мещения 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.

- Точные значения любых времен следует определять по осциллограмме.

- 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) можно изменять в пункте меню «Настройки». Например, для того, чтобы увидеть предаварийный режим, режим короткого замыкания и режим после отключения повреждения длину буфера в целом можно принять равной 1 секунде, а длину эпилога (по сути, это длина записи режима после отключения КЗ) – 0,5 секунды.

12. По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А2 и А7.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой метод используется при расчете несимметричных режимов? В чем его сущность?
2. Каковы комплексные схемы замещения для несимметричных к.з.?
3. Как определяются сопротивления обратной последовательности различных элементов системы электроснабжения?
4. Как определяются сопротивления нулевой последовательности различных элементов системы электроснабжения? От чего они зависят?
5. На каком основном допущении основано использование метода симметричных составляющих при расчете несимметричных режимов?
6. Почему в схемах замещения обратной и нулевой последовательностей отсутствуют ЭДС?
7. Как составляется схема замещения нулевой последовательности? Чем она определяется?
8. Каковы векторные диаграммы токов и напряжений для различных видов к.з.? Как они строятся?
9. Как определить фазные токи и напряжения по известным значениям их симметричных составляющих?
10. Каковы аналитические методы расчета несимметричных к.з.?
11. Что называют коротким замыканием на землю?
12. От чего зависит величина токов к.з. на землю?
13. Каковы пределы изменения результирующего сопротивления нулевой последовательности и от чего оно зависит?
14. Может ли ток к.з. на землю быть больше тока трехфазного к.з.?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### **Исследование коротких замыканий в узлах нагрузки с собственной генерацией**

Цель работы: изучение подпитки точки короткого замыкания токами генерирующих элементов узла нагрузки.

#### **Общие сведения**

Если предприятие, схема электроснабжения которого рассматривается в качестве узла нагрузки, имеет собственную ТЭЦ (например, сахарный завод) или мощную компрессорную станцию, то при коротких замыканиях на шинах 6-10 кВ данного предприятия синхронные машины этих объектов оказываются включенными «электрически» близко к точке замыкания. В этом случае в общем токе короткого замыкания значительную долю составляет ток подпитки синхронных генераторов или двигателей, перешедших при возникновении короткого замыкания в генераторный режим.

Сети 6-10 кВ выполняются с изолированной нейтралью, поэтому практический интерес с точки зрения исследования токов подпитки представляют трехфазное и междуфазное короткие замыкания. Поскольку в сетях с изолированной нейтралью ток междуфазного замыкания составляет приблизительно 0,87 от тока трехфазного замыкания ограничимся в настоящей лабораторной работе исследованием только трехфазного замыкания.

Узел нагрузки представим активными и индуктивными сопротивлениями, параллельно которым через отдельную линию подключен синхронный генератор. Питание узла нагрузки осуществляется от проходной подстанции энергосистемы двумя воздушными линиями (рис. 3.1). Трехфазное короткое замыкание моделируется автоматическим выключателем с замкнутыми контактами.

Фазные токи и напряжения через трансформаторы тока и напряжения подаются на аналоговые входы коннектора, связанного с персональным компьютером. Регистрация переходного процесса осуществляется с помощью многоканального осциллографа.

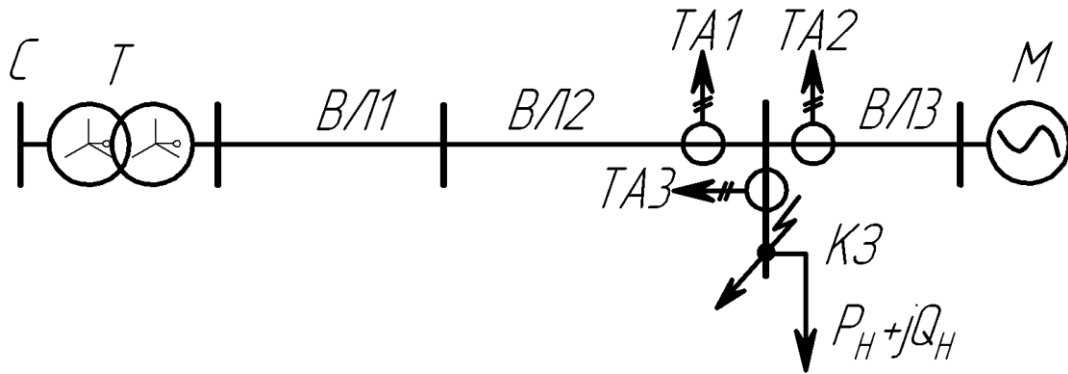


Рис. 3.1 Исследуемая схема системы электроснабжения

Для быстрого отключения короткого замыкания с помощью специальной программы на компьютере моделируется защита 3 (используем программу максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени).

Электрическая схема соединений рассматриваемой системы электроснабжения представлена на рис. 3.2.

На рис. 3.3 показана электрическая схема подключения регистрирующей аппаратуры и блока ввода-вывода цифровых сигналов.

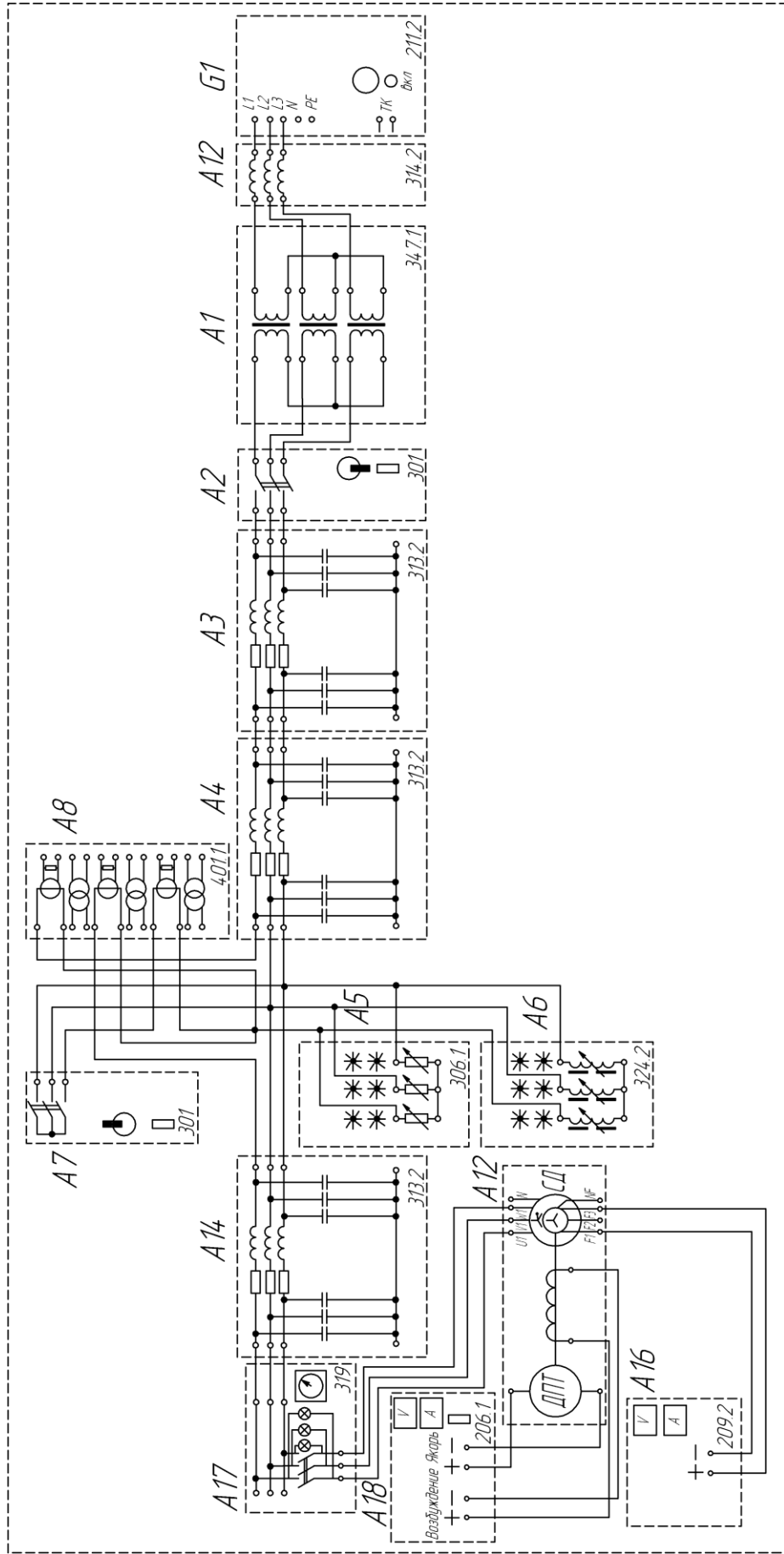


Рис. 3.2 Электрическая схема соединений

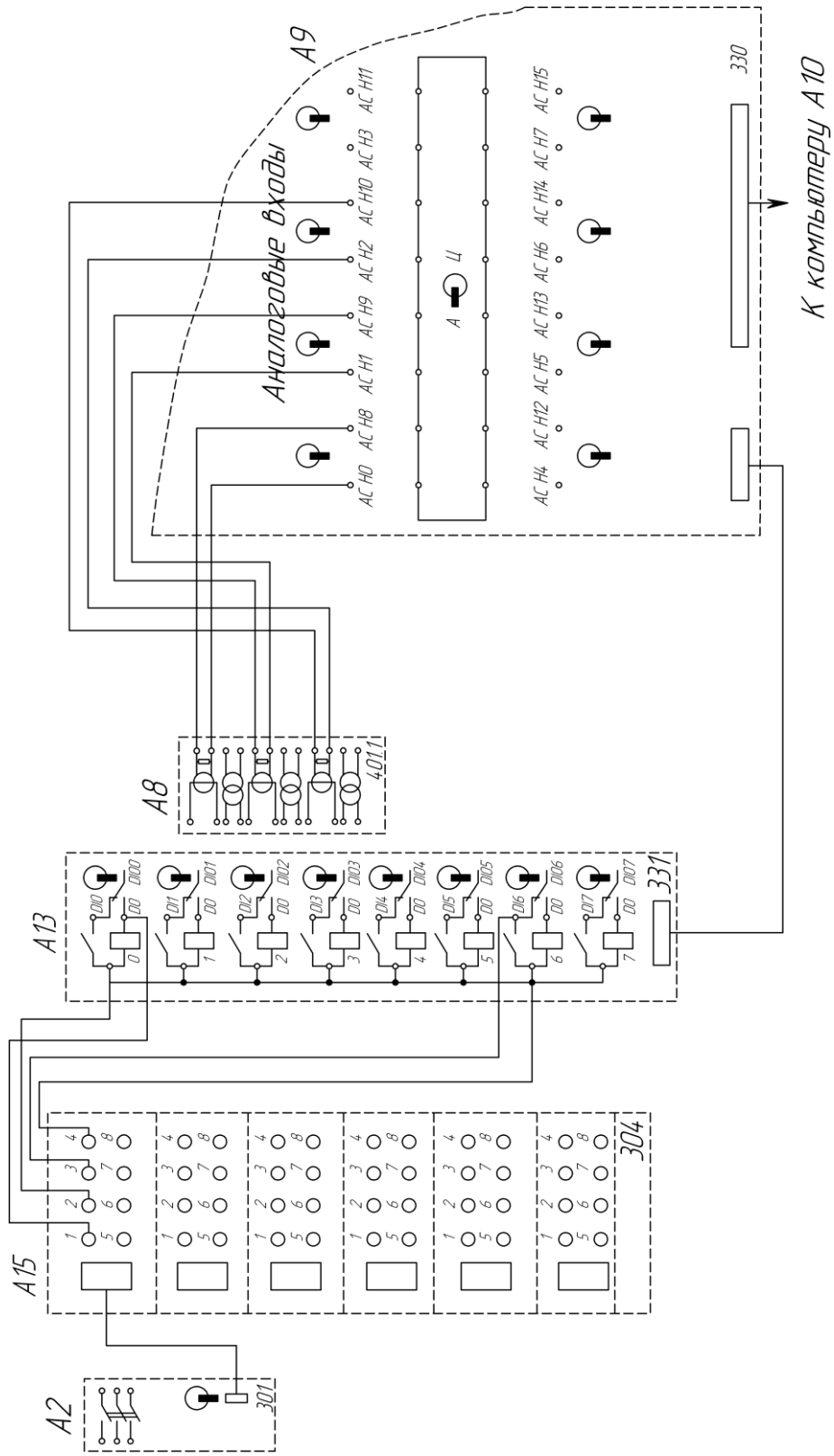


Рис. 3.3 Схема подключения к осциллографу

## Перечень аппаратуры

Таблица 4


Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.1	3 х 80 В·А; 230 (звезда) /242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 В
A2, A7	Трехполюсный выключатель	301	400 В ~; 10 А
A3, A4, A14	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A5	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0...50 Вт;
A6	Индуктивная нагрузка	324.2	220/380 В; 50Гц; 3х40 ВАр
A8	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В 0,3 А / 3 В
A9	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A10	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, Windows XP, монитор, мышь, клавиатура, плата сбора информации PCI 6024E



Окончание табл. 3

A11	Линейный реактор	314.1	220/380 В; 50 Гц; 0,3 А; 0,3 Гн/10 Ом
A12	Электромашинный агрегат	101.1 102.1 105.1	см. стр. 2,3
A13	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A15	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A16	Возбудитель машины переменного тока	209.2	0...40 В -; 3,5 А
A17	Блок синхронизации	319	220 В ~; 10 А; синхроноскоп; 3 индикаторные лампы
A18	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	0...250 В – 3 А (якорь) 220 В - ; 1 А (возбуждение)

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда «ТК» источника G1.
3. Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
5. Переключатель режимов работы трехполюсного выключателя A2 установите в положение «РУЧН.» а выключателя A7 – в положение «АВТ.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока A1 выставьте равными 230/133 В. Параметры линий электропередачи A3 и A4 переключателями установите следующими:  $R = 200 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$ ,  $C1 = C2 = 0,15 \text{ мкФ}$ . Выберите мощность активной нагрузки A5 60% от 50 Вт во всех трех фазах.
6. Смоделируйте трёхфазное короткое замыкание, соединив клеммы K1 – K3 выключателя A7 между собой.
7. Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
8. Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей A2 и A7 и блока A13. Включите выключатель A2.
9. Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A10, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «МТЗ двух линий.exe».
10. Смоделируйте требуемый вариант защиты, для чего задайте уставки, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Например, используйте уставки, заданные по умолчанию.
11. Нажмите на виртуальную кнопку «Начать запись», введите защиты нажатием на соответствующую кнопку и непосредственно после этого смоделируйте короткое замыкание, включив выключатель A7. После отключения защитой короткого замыкания остановите запись. Проанализируйте отображенные осциллограммы токов и напряжений линий, а также поя-

вившуюся на экране информацию о последовательности произошедших событий.

12. 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.

- Точные значения любых времен следует определять по осциллограмме.

- 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) можно изменять в пункте меню «Настройки». Например, для того, чтобы увидеть предаварийный режим, режим короткого замыкания и режим после отключения повреждения длину буфера в целом можно принять равной 1 секунде, а длину эпилога (по сути, это длина записи режима после отключения КЗ) – 0,5 секунды.

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

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите причины возникновения КЗ и их последствия в электроустановках.
2. Что понимают под обобщенной нагрузкой? Как оценивают ее параметры в начальный момент к.з.?
3. Что понимают под мощностью к.з.?
4. Что называют переходной и сверхпереходной ЭДС? Каковы их характерные свойства?
5. Каков аналитический метод расчета начальных токов трехфазного к.з.?
6. Как происходит подпитка точки к.з.?
7. От чего зависит ток подпитки?
8. Почему при к.з. двигатели переходят в режим генератора?
9. Для чего необходим расчет тока трехфазного к.з.?
10. Для чего вводится система относительных единиц?
11. Как выбирается базисное напряжение и мощность?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электроэнергетические системы и сети [Текст] : учебное пособие / Н. В. Хорошилов [и др.] ; Минобрнауки России, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Юго-Западный государственный университет" (ЮЗГУ). - Курск : ЮЗГУ, 2014. - 147 с.
2. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования [Текст] : учебное пособие / под ред. И. П. Крючкова, В. А. Старшинова. - М. : Академия, 2005. - 416 с.
3. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования [Текст] : учебное пособие для студ. вуз. / Под ред. О. Д. Гольдберга. - М. : Высшая школа, 2001. - 512 с.
4. Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций [Текст] : учебник для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. - М. : Академия, 2004. - 448 с.