МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт *Горного дела и строительства*
Кафедра «*Санитарно-технические системы*»

Утверждено на заседании кафедры
«*СТС*»
«29» января 2019г., протокол №_5_

Заведующий кафедрой

_____*Р.А. Ковалев*

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине (модулю)

«Электроснабжение зданий и населенных мест с основами электротехники и электроники»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата
по направлению подготовки
08.03.01 «Строительство»
с направленностью (профилем)
Промышленное и гражданское строительство

Форма(ы) обучения: *заочная*

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-05-17

Тула 2019год

Разработчик(и) методических указаний

Ковалев Р.А.директор института горного дела и строительства, док. техн. наук, доцент

(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание) *(подпись)*

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....3
ВВЕДЕНИЕ.....4
Лабораторная работа № 1. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....7
Лабораторная работа № 2 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ.....12

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум по дисциплине **Электроснабжение зданий и населенных мест с основами электротехники и электроники** предназначен для студентов направления СТРОИТЕЛЬСТВО всех профилей.

Выполнение лабораторных работ разделено на части: студент обязан выполнить предварительное домашнее задание. На занятиях провести лабораторную работу, оформить отчет. А на следующем занятии защитить.

Отчет составляется отдельно каждым студентом и включает в себя:

- краткую характеристику работы, в которую входят цель работы и краткие теоретические сведения;
- выполненное предварительное домашнее задание;
- сводную таблицу результатов замеров и расчетов;
- выводы по работе.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ВВОДНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. КОМПОНЕНТЫ ELECTRONICS WORKBENCH

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Овладеть навыками работы с программой Electronics Workbench.

2.ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Программа Electronics Workbench предназначена для схемотехнического моделирования аналоговых и цифровых радиоэлектронных устройств различного назначения.

Для операций с компонентами на общем поле Electronics Workbench выделены две области панель компонентов и поле компонентов (рис. 1)

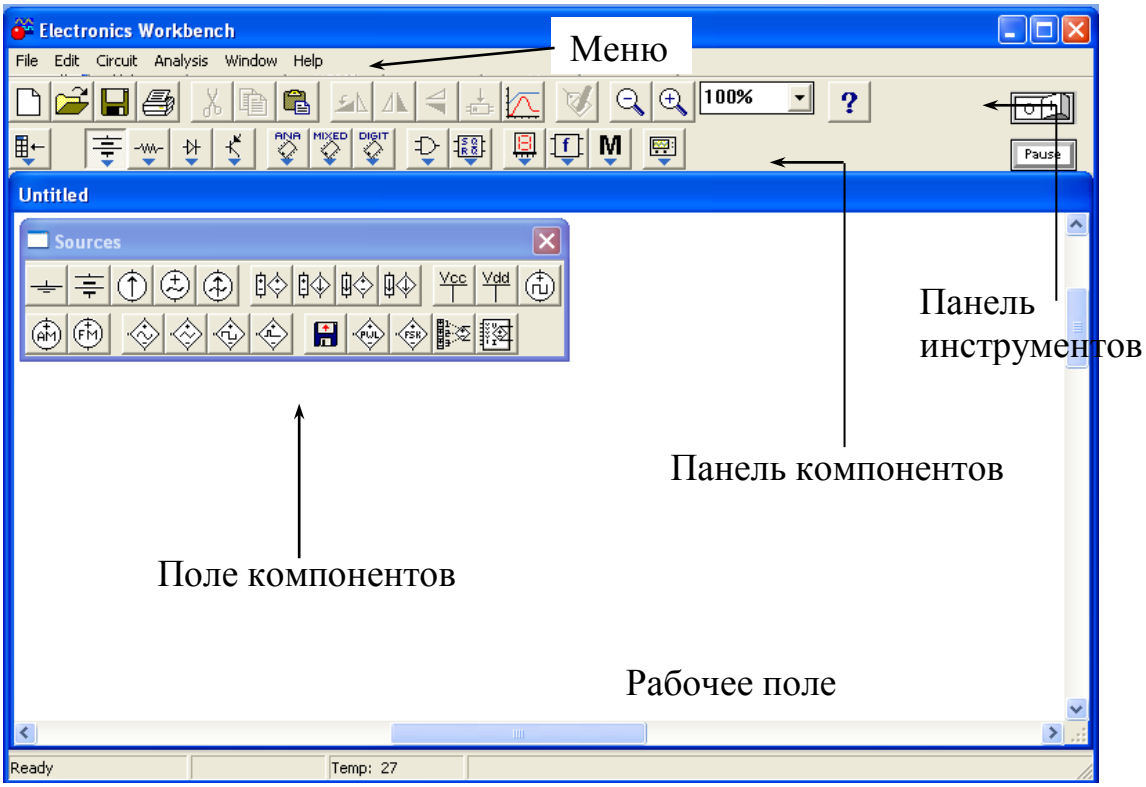


Рисунок 1

Панель компонентов состоит из пиктограмм полей компонентов, поле компонентов – из условных изображений компонентов. Щелчком мышью на одной из пиктограмм полей компонентов, расположенных на панели, можно открыть соответствующее поле. На рис. 1 открыто поле источников сигнала (Sources). Расположение элементов в полях ориентировано на частоту использования компонента. На рис. 2 показаны все имеющиеся в Electronics Workbench поля компонентов.

В библиотеки элементов программы Electronics Workbench входят аналоговые, цифровые и цифро-аналоговые компоненты.

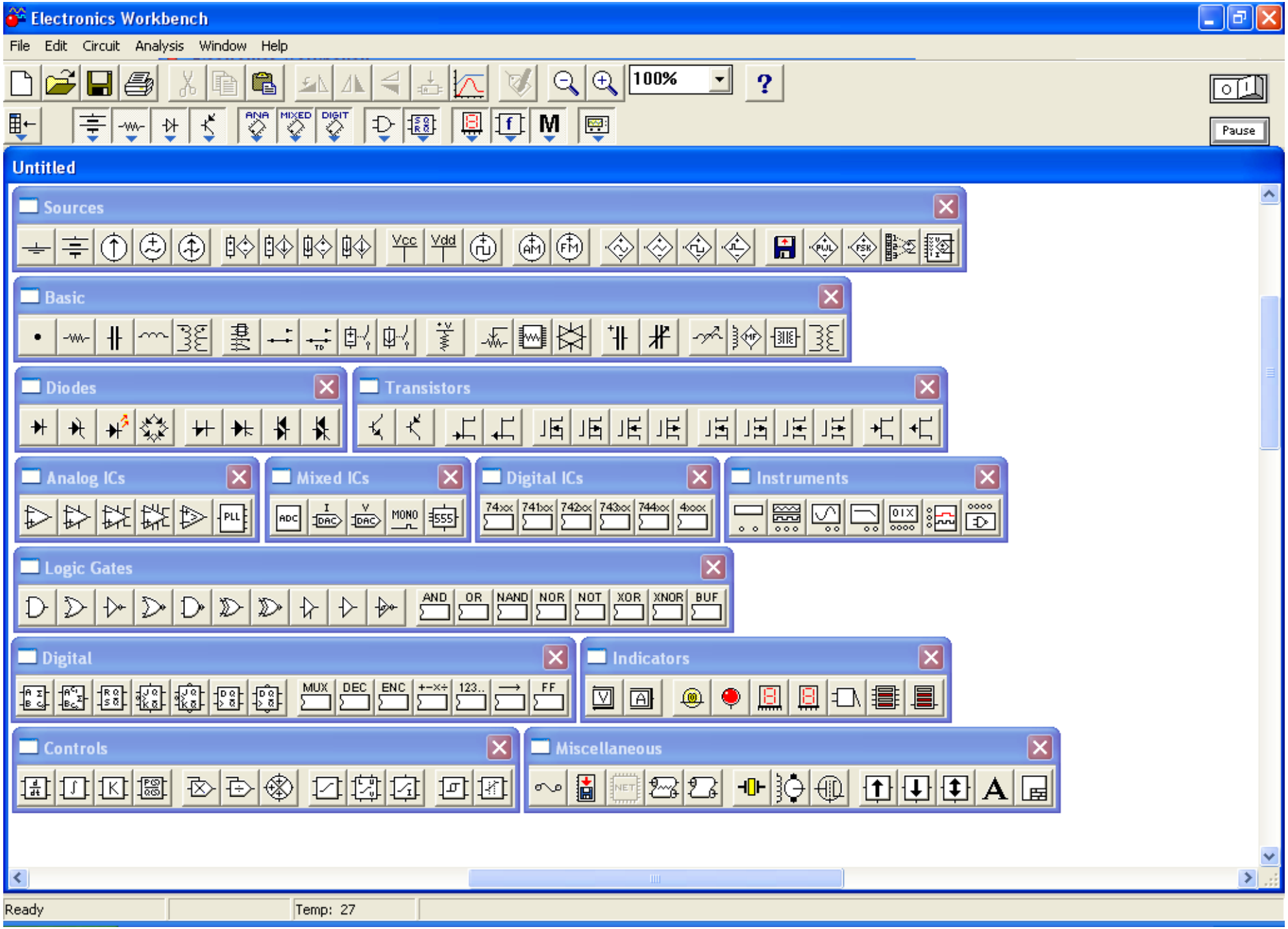

Electronics Workbench
File Edit Circuit Analysis Window Help
100%
Pause
Untitled
Sources
Basic
Diodes
Transistors
Analog ICs
Mixed ICs
Digital ICs
Instruments
Logic Gates
AND OR NAND NOR NOT XOR XNOR BUF
Digital
MUX DEC ENC FF
Indicators
Controls
Miscellaneous
Ready
Temp: 27

Рисунок 2

Все компоненты можно условно разбить на следующие группы:

1. Источники (Sources)
2. Базовые компоненты (Basic)
3. Диоды (Diodes)
4. Транзисторы (Transistors)
5. Аналоговые микросхемы (Analog ICs)
6. Микросхемы смешанного типа (Mixed ICs)
7. Цифровые микросхемы (Digital ICs)
8. Логические цифровые микросхемы (Logic Gates)
9. Цифровые микросхемы (Digital)
10. Индикаторные устройства (Indicators)
11. Аналоговые вычислительные устройства (Controls)
12. Компоненты смешанного типа (Miscellaneous)
13. Инструменты (Instruments).

Базовые компоненты (Basic)

Соединительный узел (Connector)

Узел применяется для соединения проводников и создания контрольных точек. К каждому узлу может подсоединяться не более четырех проводников. После того как схема собрана, можно вставить дополнительные узлы для подключения приборов.

Резистор (Resistor)

Сопротивление резистора измеряется в Омах и задается производными величинами (от Ом до МОм).

Конденсатор (Capacitor)

Ёмкость конденсатора измеряется в Фарадах и задается производными величинами (от пФ до Ф).

Катушка индуктивности (Inductor)

Индуктивность катушки (дросселя) измеряется в Генри и задается производными величинами (от мкГн до Гн)

Переключатель (Switch)

Переключатель, управляемый нажатием задаваемой клавиши клавиатуры (по умолчанию – клавиша пробела).

Переменный резистор (Potentiometer)

Положение движка переменного резистора устанавливается при помощи специального элемента – стрелочки – регулятора. В диалоговом окне можно установить сопротивление, начальное положение движка (в процентах) и шаг приращения (также в процентах). Имеется возможность изменять положение движка при помощи клавиш – ключей (по умолчанию – клавиша R).

Используемые клавиши – ключи:

- буквы от A до Z;
- цифры от 0 до 9;
- клавиша Enter на клавиатуре;
- клавиша пробел [Space].

Для увеличения значения положения движка необходимо одновременно нажать [Shift] и клавишу – ключ, для уменьшения – клавишу – ключ.

Пример: Движок установлен в положении 45%, шаг приращения — 5%,

клавиша-ключ-пробел [Space]. Нажатием, клавиши [Space] положение движка становится равным 40%. При каждом последующем нажатии на клавишу [Space] значение уменьшается на 5%. Если нажать [Space] + [Shift], то положение движка потенциометра увеличится на 5%.

Переменный конденсатор (Variable Capacitor)

Переменный конденсатор допускает возможность изменения величины емкости. Величину емкости устанавливают, используя ее начальное значение коэффициента пропорциональности следующим образом:

C=(начальное значение/100) – коэффициент пропорциональности.

Значение емкости может устанавливаться с помощью клавиш – ключей так же, как и положение движка переменного резистора.

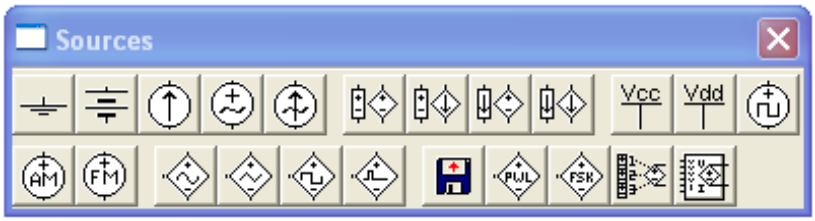
Катушка с переменной индуктивностью (Variable Inductor)

Величину индуктивности этой катушки устанавливают, используя начальное значение ее индуктивности и коэффициента пропорциональности следующим образом:

L=(начальное значение/100) – коэффициент пропорциональности

Значение индуктивности может устанавливаться с помощью клавиш – ключей так же, как и положение движка переменного резистора.

Компоненты источники (Sources)



Заземление (Ground)

Компонент «заземление» имеет нулевое напряжение и таким образом обеспечивает исходную точку для отсчета потенциалов. Не все схемы нуждаются в заземлении для моделирования, однако любая схема, содержащая:

- операционный усилитель;
- трансформатор;
- управляемый источник;
- осциллограф,

должна быть обязательно заземлена, иначе приборы не будут производить измерения или их показания окажутся неправильными.

Будьте внимательны при заземлении трансформаторов и управляемых источников.

Источники

Все источники в Electronics Workbench идеальные. Внутреннее сопротивление идеального источника напряжения равно нулю, поэтому его выходное напряжение не зависит от нагрузки. Идеальный источник тока имеет бесконечно большое внутреннее сопротивление, поэтому его ток не зависит от сопротивления нагрузки.

Источник постоянного напряжения (Battery)

ЭДС источника постоянного напряжения или батареи измеряется в Вольтах и задается производными величинами (от мкВ до кВ). Короткой чертой в изображении батареи обозначается вывод, имеющий отрицательным потенциал; по отношению к другому выводу.

Батарея в Electronics Workbench имеет внутреннее сопротивление, равное нулю, поэтому, если необходимо использовать две параллельно подключенные батареи, то следует включить последовательно между ними небольшое сопротивление (например, в 1 Ом).

Источник постоянного тока (DC Current Source)

Ток источника постоянного тока (direct current) измеряется в Амперах и задается производными величинами (от мкА до кА). Стрелка указывает направление тока (от "+" к "-")

Источник переменного напряжения (AC Voltage Source)

Действующее значение (root-mean-square - RMS) напряжения источника измеряется в Вольтах и задается производными величинами (от мкВ до кВ). Имеется возможность установки частоты и начальной фазы. Напряжение источника отсчитывается от вывода со знаком "-". Действующее значение напряжения VRMS, вырабатываемое источником переменного синусоидального напряжения, связано с его амплитудным значением VPEAK следующим, соотношением:

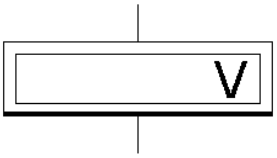
$$U_{VRMS} = \frac{U_{VPEAK}}{\sqrt{2}}$$

Источник переменного тока (AC Current Source)

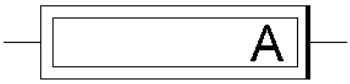
Действующее значение сока источника измеряется в Амперах и задается производными величинами (от мкА до кА). Имеется возможность установки частоты и начальной фазы.

Компоненты индикаторные устройства (Indicators)

Вольтметр (Voltmeter)
Вольтметр (внутреннее сопротивление, режим измерения постоянного или переменного напряжения).



Амперметр (Ammeter)
Амперметр (внутреннее сопротивление, режим измерения постоянного или переменного тока).



Инструменты (Instruments)

Осциллограф (Oscilloscope)

Изображение на рабочем поле

Лицевая панель осциллографа показана на рис. 3. Осциллограф имеет два канала (CHANNEL) A и B с раздельной регулировкой чувствительности в диапазону от 10 мкВ/дел (mV/Div) до 5 кВ/дел (kV/Div) и регулировкой смещения по вертикали (Y P(AC 0 DC ежима по входу осуществляется нажатием кнопок . Режим AC предназначен для наблюдения только сигналов переменного тока (его еще называют режимом «закрытого входа», поскольку в этом режиме на входе усилителя включается разделительный конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую). В режиме 0 входной зажим замыкается на землю. В режиме DC (включен по умолчанию) можно проводить осциллографические измерения как постоянного, так и переменного тока. Этот режим еще называют режимом «открытого входа», поскольку входной сигнал поступает на вход вертикального усилителя непосредственно. С правой стороны от кнопки DC расположен входной зажим.

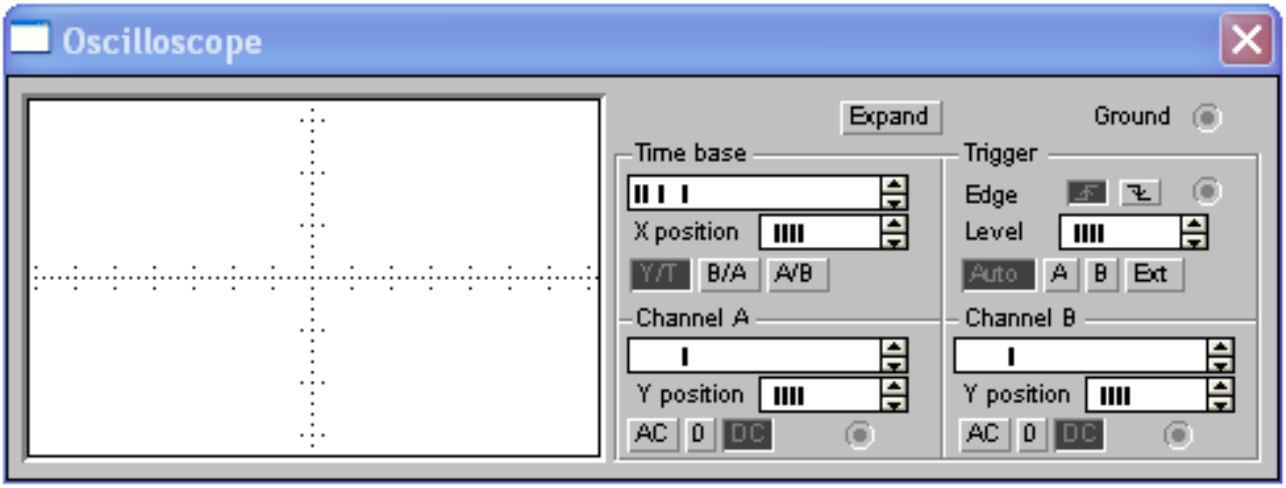


Рисунок 3

Режим развертки выбирается кнопками Y/T B/A A/B . В режиме Y/T (обычный режим, включен по умолчанию) реализуются следующие режимы развертки: по вертикали - напряжение сигнала, по горизонтали - время; в режиме B/A: по вертикали - сигнал канала B, по горизонтали - сигнал канала A; в режиме A/B; по вертикали - сигнал канала A, по горизонтали - сигнал канала B.

В режиме Y/T длительность развертки (TIME BASE) может быть задана в диапазоне от 0,1 нс/дел (ns/div) до 1 с/дел (s/div) с возможностью установки смещения в тех же единицах по горизонтали, т. е. по оси X (X POS).

В режиме Y/T предусмотрен также ждущий режим (TRIGGER) с запуском развертки (EDGE) по переднему или заднему фронту запускающего сигнала (выбирается нажатием кнопок) улируемом уровне (LEVEL) запуска, а также в режиме AUTO (от канала A или B), от канала A, от канала B или от внешнего источника (EXT), подключаемого к зажиму в блоке управления TRIGGER. Названные режимы запуска развертки выбираются кнопками . Auto A B Ext

Заземление осциллографа осуществляется с помощью клеммы GROUND в правом верхнем углу прибора.

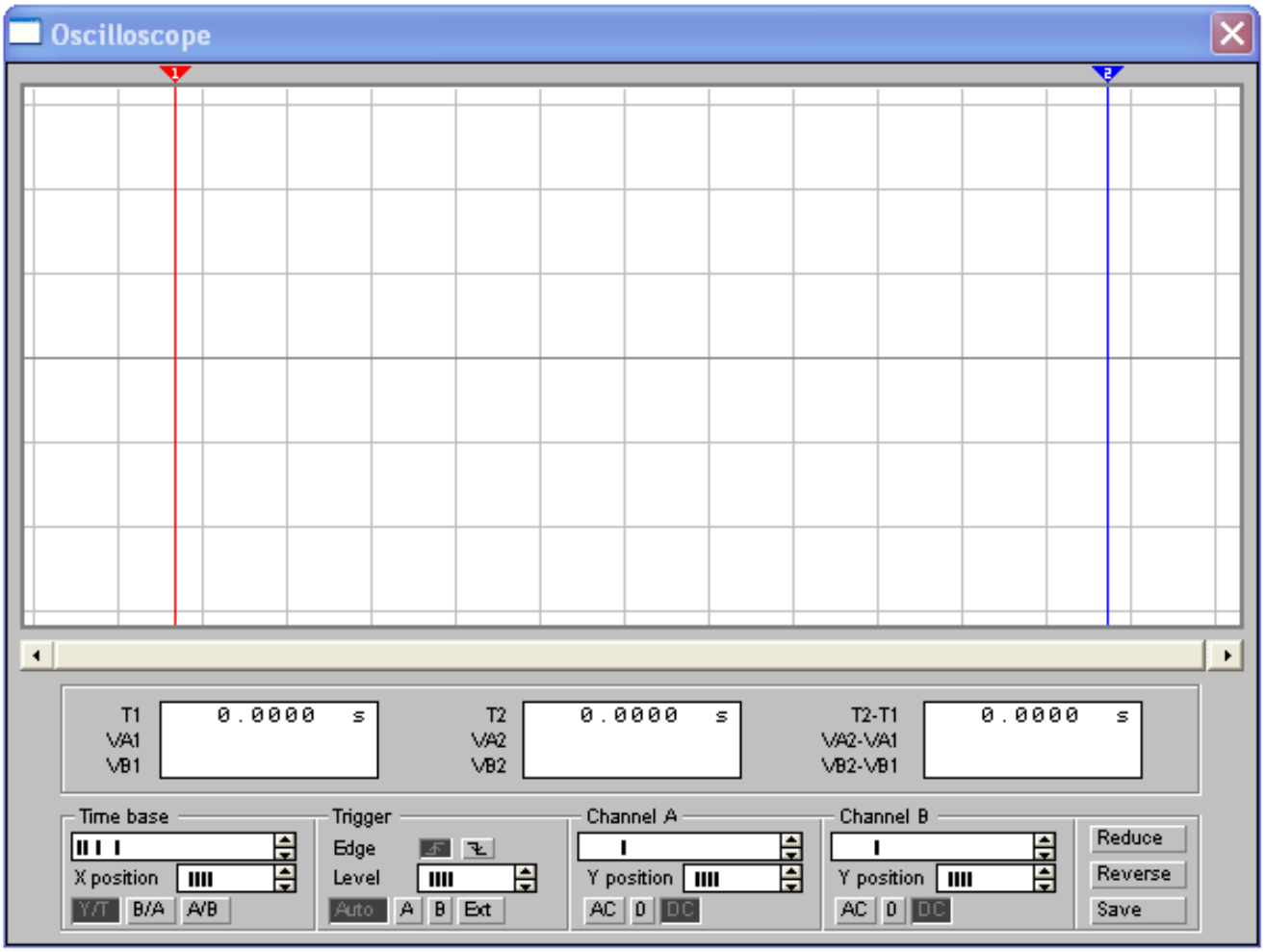


Рисунок 4

При нажатии на кнопку ZOOM лицевая панель осциллографа существенно меняется (рис. 4) - увеличивается размер экрана, появляется возможность прокрутки изображения по горизонтали и его сканирования с помощью вертикальных визирных линий (синего и красного цвета), которые за треугольные ушки (они обозначены цифрами 1 и 2) могут быть курсором установлены в любое место экрана. При этом в индикаторных окошках под экраном приводятся результаты измерения напряжения, временных интервалов и их приращений (между визирными линиями).

Изображение можно инвертировать нажатием кнопки REVERSE и записать данные в файл нажатием кнопки SAVE. Возврат к исходному состоянию осциллографа производится нажатием кнопки REDUCE.

Лабораторная работа № 1. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ.

Экспериментальное исследование сложных многоконтурных систем постоянного тока. Приобретения навыков расчета таких цепей.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

Величина тока в неразветвленной электрической цепи с несколькими источниками определяется отношением алгебраической суммы ЭДС всех источников к полному сопротивлению цепи $I = \frac{\sum E}{\sum R}$.

Напряжение на зажимах источника, работающего в режиме потребителя, больше чем ЭДС самого источника на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении этого источника $U_{потр} = E_{потр} + IR_{потр}$.

Напряжение на клеммах источника, работающего в режиме генератора, меньше, чем ЭДС источника на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении этого источника $U_{ген} = E_{ген} - IR_{ген}$.

Напряжение на любом участке $U = E \pm IR$.

Потенциальная диаграмма представляет собой график изменения потенциалов точек цепи от величины сопротивлений участков между этими точками.

Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов в ветвях, соединенных в один узел, равна нулю. Токи, входящие в узел, принято считать положительными, а выходящие – отрицательными.

Второй закон Кирхгофа: алгебраическая сумма ЭДС в замкнутом контуре электрической цепи равна алгебраической сумме падений напряжений на всех участках этой цепи, т.е. $\sum E = \sum IR$. ЭДС источника, совпадающая с выбранным направлением обхода контура, считается положительным, а не совпадающая – отрицательной.

Метод свертывания:

Схема упрощается по возможности до такой, в которой применим закон Ома.

Метод наложения:

1. В каждой ветви рассматриваемой цепи направление тока выбирается произвольно
2. Количество расчетных схем цепи равно количеству источников в исходной схеме
3. в каждой расчетной схеме действует только один источник, а остальные источники заменяются их внутренними сопротивлениями.

4. В каждой расчетной схеме методом свертывания определяют частичные токи каждой ветви.
5. Искомые токи каждой ветви рассматриваемой схемы определяются как алгебраическая сумма частичных токов в этой ветви.

2.1 Метод контурных токов

Является одним из основных методов расчета сложных цепей. Он заключается в том, что вместо токов в ветвях определяются на основании 2-го закона Кирхгофа так называемые контурные токи. При этом исключаются уравнения 1-го закона Кирхгофа. Уравнения могут быть записаны, если приписать каждой ячейке некоторый контурный ток, совпадающий с током внешних ветвей.

2.2 Метод узловых потенциалов

Этот метод позволяет уменьшить число уравнений Кирхгофа за счет исключения уравнений 2-го закона. На схеме принимаем потенциал точки "О" равным нулю.

2.3 Метод эквивалентного генератора

Метод расчета тока в выделенной ветви, основанный на замене активного двухполюсника эквивалентным генератором, принято называть методом эквивалентного генератора, а также методом холостого хода и короткого замыкания.

Рекомендуется такая последовательность расчета тока этим методом:

1. найти напряжение на зажимах разомкнутой ветви 12;
2. определить входное сопротивление $R_{вх}$ всей схемы по отношению к зажимам 12 при закороченных источниках ЭДС и разомкнутых ветвях с источниками тока;
3. подсчитать ток по формуле

$I = U_{12}/(R + R_{вх})$

если сопротивление ветви 12 равно нулю $R = 0$, то для нее имеет место режим короткого замыкания, а протекающий в ней ток есть ток короткого замыкания

$I = U_{12}/R_{вх}$

2.4 Потенциальной диаграммой называют график, на котором по оси абсцисс откладывают сопротивления резисторов, а по оси ординат – потенциалы соответствующих точек электрической схемы. Сопротивления резисторов откладывают поочередно друг за другом в том порядке, в котором они следуют при обходе исследуемого участка цепи.

2.5 Баланс мощностей. При протекании токов по сопротивлениям в последних выделяется теплота. На основании закона сохранения энергии количество теплоты, выделяющееся в единицу времени в сопротивлениях схемы, должно равняться энергии, доставляемой за тоже время источни-

ком питания. Уравнение энергетического баланса при питании только от источников ЭДС имеет вид $\sum I^2R = \sum EI$

Когда схема питается не только от источников ЭДС, но и от источников тока, т.е. к отдельным узлам схемы подтекают и от них утекают токи источников тока, при составлении уравнения энергетического баланса необходимо учесть и энергию, доставляемую источниками тока. Допустим, что к 1-му узлу схемы подтекает ток , а от 2-го узла он утекает. Доставляемая источником тока мощность равна $U_{12}I$. Тогда общий вид уравнения энергетического баланса имеет вид $\sum I^2R = \sum EI + \sum U_{12}I$

3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ
   1. Для схемы составить для всех узлов и ветвей уравнения Законов Кирхгофа;
   2. Определить токи в ветвях используя любой из методов (исходные данные таблица 1)
   3. Построить потенциальную диаграмму;
   4. Составить баланс мощностей.

4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ И ПРОГРАММА ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ.

4.1 Начертить схему проведения эксперимента, предварительно подключив необходимые приборы.

4.2 Изучить схему постоянного тока, записать величины сопротивлений входящих в нее резисторов и определить основные характеристики приборов (пределы измерения и класс точности).

4.3 Проведение работы

4.4 Сравнить результаты расчета и эксперимента, сделать вывод.

4.5 Подготовить бланк отчета и миллиметровую бумагу с чертежем потенциальной диаграммы.

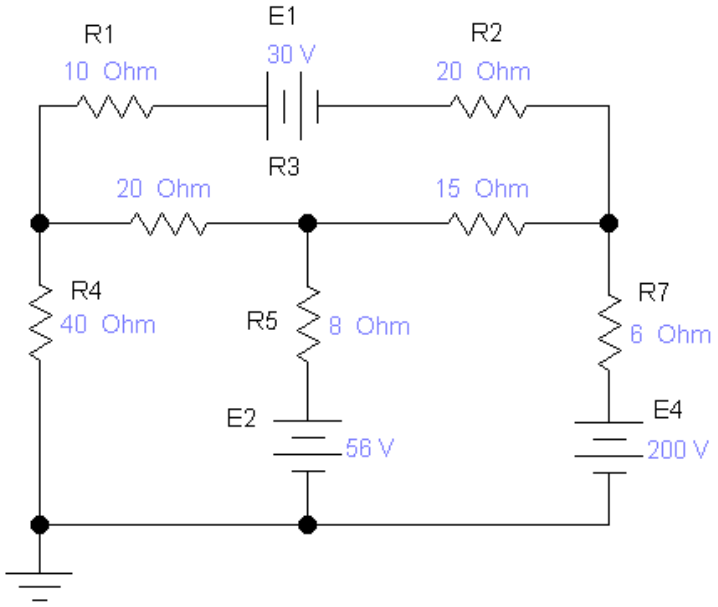


Рисунок 1. схема многоконтурной цепи постоянного тока

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет составляется отдельно каждым студентом и включает в себя:
- краткую характеристику работы, в которую входят цель работы и краткие теоретические сведения;
- выполненное предварительное домашнее задание;
- сводную таблицу результатов замеров и расчетов;
- выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

6.1Как с помощью приборов магнитоэлектрической системы определить направление электрического поля и полярность напряжения?
6.2Как записывается для выбранных пассивной и активной ветвей закон Ома?
6.3Что называется узлом и контуром электрической цепи?
6.4Как измерить потенциал точки?
6.5Могут ли токи в ветвях и потенциалы точек иметь отрицательное значение?
6.6Как построить потенциальную диаграмму?
6.7Как по потенциальной диаграмме определить напряжение между двумя точками?
6.8Как определяется величина и направление тока в неразветвленной цепи с несколькими ЭДС?
6.9Как определяется напряжение на клеммах источника, работающего в режиме генератора и в режиме потребителя?
6.10. Как определяются потенциалы точек электрической цепи?

6.11. Как используются законы Кирхгофа для расчета сложных электрических цепей?
6.12. Дайте определение первого и второго законов Кирхгофа.
6.13. В чем заключается метод наложения?
6.14. Когда и как можно применять метод узлового напряжения?
6.15. В чем заключается метод контурных токов?
6.16. Когда и как используется метод свертывания, приведите расчетные формулы.

Лабораторная работа № 2 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ.

- Исследование амплитудно-фазовых соотношений для ЭДС в трехфазном генераторе
- Измерение линейных и фазных напряжений
- Исследование амплитудно-фазовых соотношений между токами и напряжениями в 3-х фазных цепях при различных соединениях фаз генератора и нагрузки:

A. Соединение звезда-звезда с нулевым проводом
B. Соединение звезда-звезда
C. Соединение звезда-треугольник

- Исследование несимметричных режимов
- Измерение мощности в трехфазных цепях

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Многофазная цепь – это совокупность нескольких электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, отличающиеся друг от друга по фазе и создаваемые общим источником электрической энергии. Отдельные электрические цепи, образующие многофазную систему, называют фазами, число цепей, входящих в систему называют числом фаз.

Совокупность ЭДС, действующих в многофазной системе, называют многофазной системой ЭДС, а совокупность токов, протекающих в этих цепях – трехфазной системой токов.

Многофазный генератор состоит из m обмоток, сдвинутых друг относительно друга на некоторые углы. Вращая их с постоянной угловой скоростью в однородном магнитном поле, получим m-многофазный генератор синусоидальных ЭДС, сдвинутых по фазе на углы, равные углам между обмотками.

Многофазная система называется несвязанной, если ее составляющие электрически не соединены между собой, в противном случае система называется связанной.

Существует два основных способа связывания многофазных систем: соединение звездой и соединение многоугольником (треугольником). Соединение звездой выполняют, объединяя начала всех его фаз в одну общую точку, называемую нейтральной точкой. Связь между генератором и нагрузкой может осуществляться при помощи проводов A,B,C, идущих от концов всех обмоток (соединение звезда-звезда), а иногда и от нейтральной точки генератора (звезда-звезда с нейтральным проводом). При этом провода, идущие от обмоток , называют линейными, а провод идущий от нейтральной точки – нейтральным. Соединение обмоток генератора многоугольником осуществляют, соединяя начало обмотки каждой фазы с концом обмотки следующей фазы.

ЭДС, индуктируемые в обмотках генератора, напряжения на зажимах этих обмоток и токи в них называют фазными, а напряжения между соседними линейными проводами и токи в них называют линейными.

Для трехфазной системы

$$e_A = E_m \sin\omega t,\ e_B = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right),\ e_C = E_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = E_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right).$$

$$\underline{E}_A = E,$$

$$\underline{E}_B = \underline{E}_A e^{-j\frac{2\pi}{3}} = Ee^{j\frac{4\pi}{3}} = Ee^{-j\frac{2\pi}{3}},$$

$$\underline{E}_C = \underline{E}_A e^{-j\frac{4\pi}{3}} = Ee^{j\frac{2\pi}{3}} = Ee^{-j\frac{4\pi}{3}}.$$

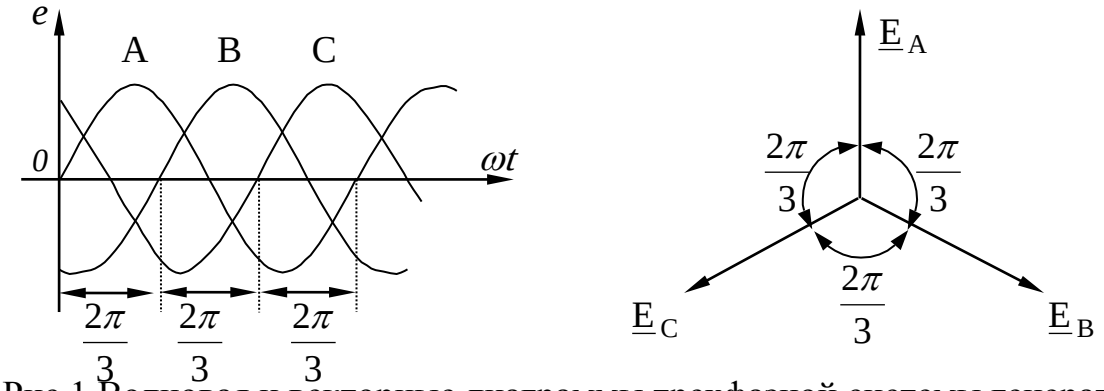


Рис.1 Волновая и векторные диаграммы трехфазной системы генератора

Соотношения между фазными и линейными токами и напряжениями определяются типом соединения и типом нагрузки – симметричной или несимметричной (однородной или неоднородной, равномерной или неравномерной)

Для симметричной нагрузке $Z_a = Z_b = Z_c, Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}$

При равномерной нагрузке модули сопротивлений равны

$z_a = z_b = z_c, z_{ab} = z_{bc} = z_{ca}$

При однородной нагрузке $\varphi_a = \varphi_b = \varphi_c, \varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca}$. Фазный угол каждой фазы $\varphi_\Phi = arctg(X_\Phi / R_\Phi)$, где X_Φ, R_Φ - реактивная и активная составляющая комплексного сопротивления нагрузки соответствующей фазы.

Звезда-звезда с нулевым проводом при любой нагрузке:

фазные токи $\underline{I_a} = \underline{U_a} / Z_a; \underline{I_b} = \underline{U_a} / Z_b; \underline{I_c} = \underline{U_c} / Z_c$

ток в нейтральном проводе $\underline{I_O} = \underline{I_a} + \underline{I_b} + \underline{I_c}$

линейное напряжение $U_Л = U_\phi \sqrt{3}$

Звезда – звезда с нулевым проводом при симметричной нагрузке:

Фазные токи $I_a = I_b = I_c = U_\Phi / z_\Phi$, ток в нейтральном проводе $\underline{I_O} = 0$

Звезда-звезда без нулевого провода при любой нагрузке:

Напряжение смещения нейтрали $\underline{U}_{ON} = \dfrac{\underline{U}_A \underline{Y}_A + \underline{U}_B \underline{Y}_B + \underline{U}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N}$

Звезда-звезда без нулевого провода при симметричной нагрузке:

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_\phi + \underline{Z}} = \underline{Y}_B = \underline{Y}_C,\ \underline{Y}_N = \frac{1}{\underline{Z}_N}, \underline{U}_{ON} = \frac{\underline{Y}_A(\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C)}{3\underline{Y}_A + \underline{Y}_N} = 0.$$

Тогда $\underline{I}_N = 0$ и нейтральный провод не нужен.

Токи в фазных проводах:

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A - \underline{U}_{ON}}{\underline{Z}_{Ô} + \underline{Z}} = \underline{U}_A \underline{Y}_A,$$

$$\underline{I}_B = \frac{\underline{U}_B - \underline{U}_{ON}}{\underline{Z}_Ф + \underline{Z}} = \underline{U}_B \underline{Y}_A,$$

$$\underline{I}_C = \frac{\underline{U}_C - \underline{U}_{ON}}{\underline{Z}_Ф + \underline{Z}} = \underline{U}_C \underline{Y}_A$$

одинаковые по величине и последовательно смещены по фазе на 120^0, то есть

$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0$.

Линейные токи равны фазным

Несмотря на заметное удорожание линии электропередачи при использовании нейтрального провода, его тем не менее в потребительской сети применяют вследствие возможной несимметрии системы. При этом сечение нулевого провода берут или равным сечению линейного провода, или даже меньшим.

Звезда-треугольник при любой нагрузке

фазные напряжения $\underline{U_Ф} = \underline{U_{ab}} = \underline{U_{bc}} = \underline{U_{ca}}$

линейные напряжения $\underline{U_Ф} = \underline{U_Л}$

линейные токи $\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}, \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}, \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}$.

Звезда-треугольник при симметричной нагрузке

линейные токи $I_Л = \sqrt{3} I_ф; \underline{I_Л} = \underline{I_a} = \underline{I_b} = \underline{I_c}$

фазные токи $\underline{I_Ф} = \underline{I_{ab}} = \underline{I_{bc}} = \underline{I_{ca}} = \underline{U_ф} / Z$

Мощность в трехфазной системе:

Активная $P_A + P_B + P_C = P$,

$P = 3U_Ф I_Ф \cos\varphi$ $U_Ф I_Ф = \frac{U_o I_o}{\sqrt{3}}$, $P = 3U_Ф I_Ф \cos\varphi = \sqrt{3} UI\cos\varphi$, где индекс « *Л* » (линейные величины) обычно опускается .

При симметричной нагрузке фаз $P = 3P_Ф$.Система, обладающая таким свойством , называется уравновешенной.

Реактивная мощность $Q = Q_A + Q_B + Q_C$

или при симметричной нагрузке $Q = 3U_Ф I_Ф \sin\varphi = \sqrt{3} UI\sin\varphi$.

Полная мощность при симметричной нагрузке $S = 3U_Ф I_Ф = \sqrt{3} \cdot UI, S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Измерение мощности в трехфазной системе можно проводить тремя и двумя ваттметрами. Схема с тремя ваттметрами предполагает наличие нулевого провода, а схема с двумя ваттметрами (схема Арона) более универсальна: показания ваттметров в этой схеме определяется по формулам:

$$P_1 = U_Л I_Л cos(\varphi - 30^\circ);\ P_2 = U_Л I_Л \cos(\varphi_H + 30^\circ); \varphi = arctg \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}$$

при симметричной нагрузке $P_1 + P_2 = U_Л I_Л \cos\varphi; P_1 - P_2 = U_Л I_Л \sin\varphi$

3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Соединение звезда-звезда с симметричной нагрузкой рис. 2,3

3.1.1 По исходным данным табл.1 определить значения линейных и фазных токов и напряжений

3.1.2. По полученным значениям п.3.1.2. определить активную, реактивную и полную мощности нагрузки.

3.1.3. Построить векторную диаграмму токов и напряжений

3.2. Соединение звезда-звезда с несимметричной нагрузкой рис.4

3.2.1. Повторить пункты 3.1.1.-3.1.3

3.3. Соединение звезда-треугольник с симметричной нагрузкой рис.5

3.3.1. По исходным данным табл.2. определить значения линейных и фазных токов и напряжений

3.3.2 Повторить пункты 3.1.2.-3.1.3

3.4. Соединение звезда-треугольник с несимметричной нагрузкой рис.6

3.4.1. Повторить пункты 3.1.1.-3.1.3

4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ И ПРОГРАММА ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЯ.

a. Изучить описание работы.
b. Подготовить бланк отчета и миллиметровую бумагу для снятия осциллограмм.
c. Собрать схему
d. Подключить приборы
e. Установить частоту и действующие значение и фазу сигнала генераторов
f. Установить необходимые значения сопротивлений каждой из фаз
g. Снять показания приборов
h. Сравнить с расчетными, сделать выводы по каждому из соединений
i. Зарисовать показания осциллографа, сделать выводы.
j. Сделайте вывод по работе

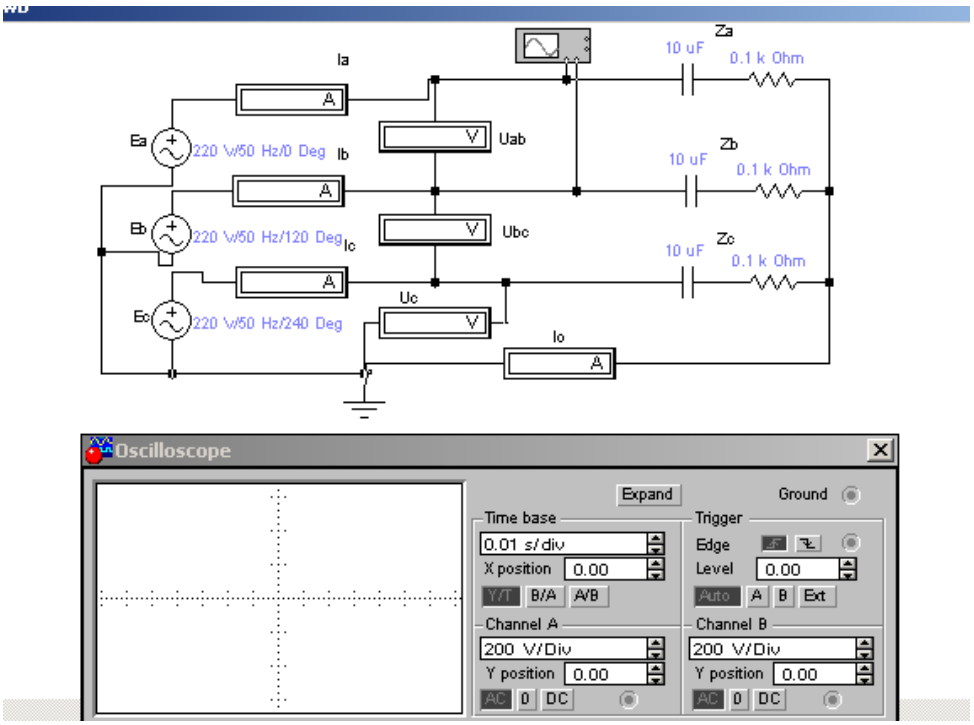


Рис.2 Схема моделирования системы звезда-звезда с симметричной нагрузкой (осциллограф измеряет линейное напряжение)

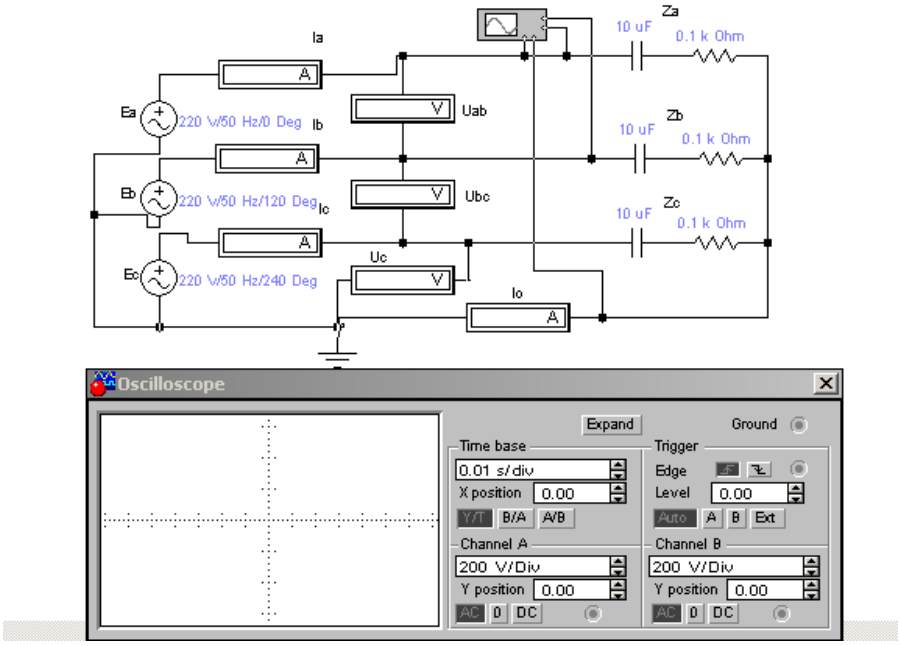
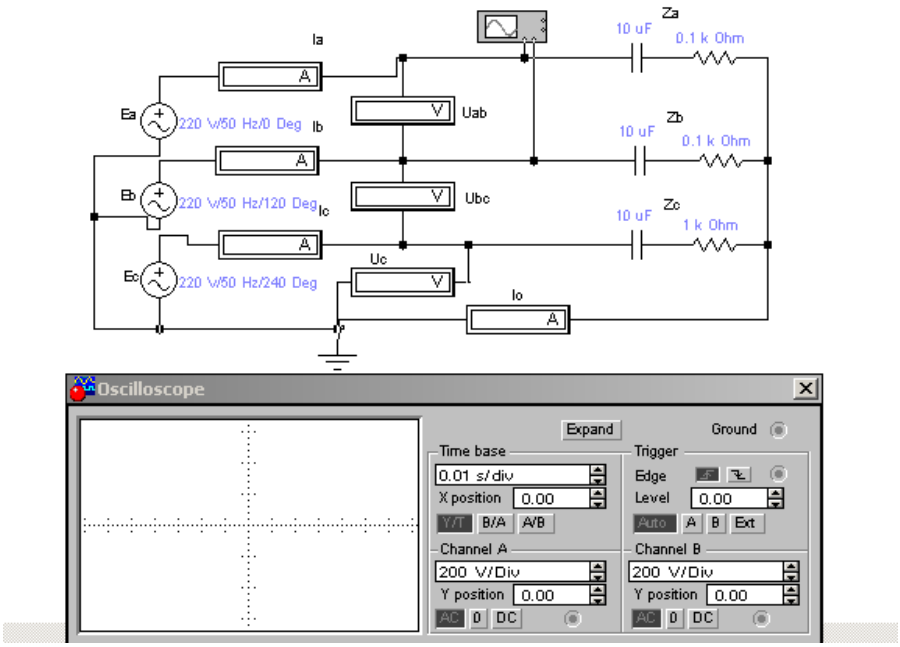


Рис.3 Схема моделирования системы звезда-звезда с симметричной нагрузкой (осциллограф измеряет фазное и линейное напряжения)



$Z_a \neq Z_b \neq Z_c$

Рис. 4. Схема моделирования системы звезда-звезда с несимметричной нагрузкой

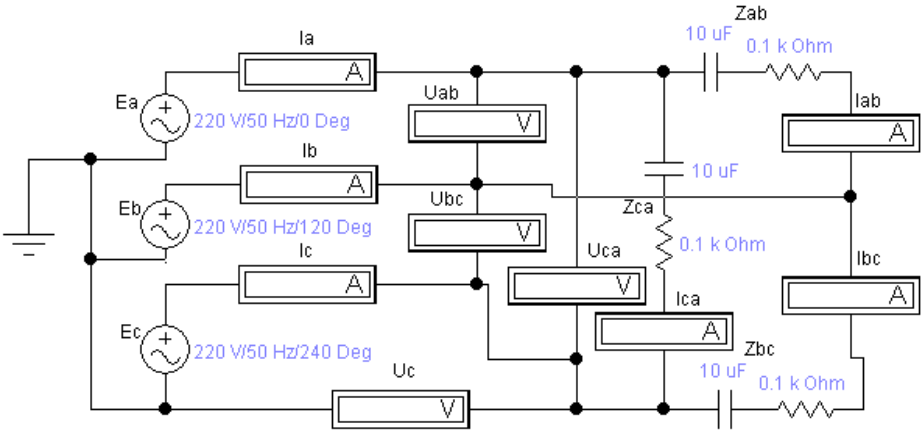


Рис.5 Схема моделирования системы звезда – треугольник с симметричной нагрузкой

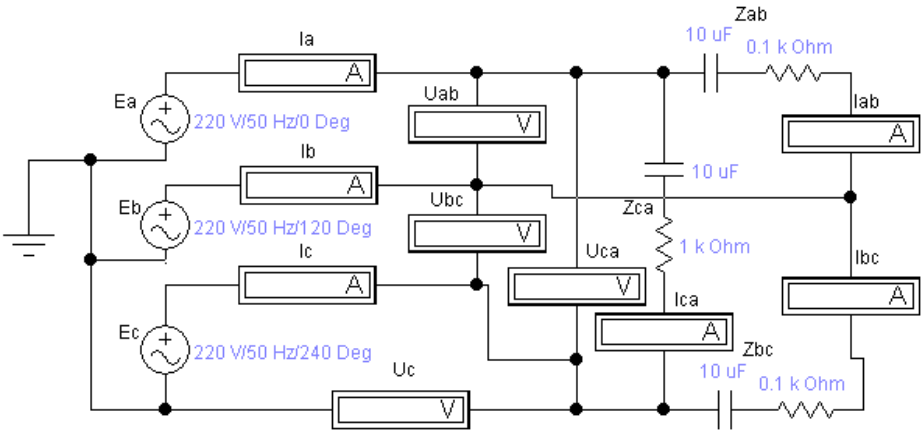


Рис. 6 схема моделирования звезда – треугольник с несимметричной нагрузкой $Z_{ab} \neq Z_{bc} \neq Z_{ca}$

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет составляется отдельно каждым студентом и включает в себя:
- краткую характеристику работы, в которую входят цель работы и краткие теоретические сведения;
- выполненное предварительное домашнее задание;
- сводную таблицу результатов замеров и расчетов;
- выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

6.1 Дайте определение многофазной системы
6.2 Что такое трехфазная система и какие схемы соединения источников ЭДС с потребителями применяются. Достоинства и недостатки различных схем соединения.
6.3 Составьте выражения для мгновенных значений фазных ЭДС и их комплексов для двух, четырех, шести и двенадцатифазных систем.
6.4 Какая нагрузка называется симметричной, равномерной и однородной
6.5 Укажите соотношения между фазовыми и линейными токами и напряжениями в различных схемах соединения
6.6 Как изменяется при симметричной нагрузке мгновенное значение в каждой фазе и суммарная мгновенная мощность
6.7 Что понимают под смещением нейтрали, в каких случаях это возникает и как определить
6.8 Необходимость нейтрального провода
6.9 Что понимают под активной, реактивной и полной мощности 3-х фазной системы. Приведите расчетные формулы.
6.10 Зарисуйте схему измерения мощности тремя ваттметрами
6.11 Зарисуйте схему Арона
6.12 Как изменяется мощность потребляемая симметричной нагрузкой при переключении ее со звезды в треугольник

Библиографический список

1. Жаворонков М.А. Электротехника и электроника: учебное пособие для вузов/М.А. Жаворонков, А.В. Кузин.-М.: Академия, 2005.-400с.

2. Кужеков С.Л. Городские электрические сети: Учебное пособие/С.Л. Кужеков, С.В. Гончаров.-Ростов-н/Д.: МарТ, 2001.-256с.

3. Рекус Г.Г. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники: Учебное пособие для неэлектротехнических спец. вузов/ Г.Г. Рекус, А.И. Белоусов.- 2-е изд. перераб.-М.: Высшая школа, 2001.-416с.

4. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред.проф. образования/Е.А.Конюхова .-М.: Мастерство.Высш.шк.2001.-320с.

5. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения.: учебное пособие для среднего профессионального образования/В.П.Шеховцов.-М.: Форум. Инфра-М.2005.-213с.

6. Иванов И.И. Электротехника.: учебник для вузов/ И.И. Иванов, Г.И. Соловьев, В.С. Равдоник. – 4-е изд. Стер.-СПб и др.: Лань, 2006.-496с.

7. Паначевный Б.И. Курс электротехники.: учебник для вузов/ Б.И. Паначевный. – 2-е изд. дораб.-Ростов-н/Д: Торсинг, 2002.-288с.

8. Николаевская И.А. Инженерные сети и оборудование территорий, зданий и стройплощадок: учебник для сред. проф. Образования/ И.А. Николаевская, Л.А. Горлопанова, Н.Ю. Морозова.-М.: Академия, 2004.-224с.

9. Зайцев В.Е. Электротехника. Электроснабжение, электротехнология и электрооборудование строительных площадок: учеб. пособие для сред. проф. образования/ В.Е. Зайцев, Т.А. Нестерова.-2-еизд. Испр.-М. Академия, 2004.-128с.

10. Ус.А.Г. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий учебное пособие для средних учебных заведений/ А.Г. Ус, Л.И. Евминов.-Минск: НПООО «Пион», 2002.-457с.

11. Электротехника и электроника: учебное пособие для вузов/В.В. Кононенко и др.: под ред В.В. Кононенко. – 4-е изд. – Ростов-н/Д: Феникс.2008.-778с.

12. Кужеков С.Л. Практическое пособие по электрическим сетями электрооборудованию/ С.Л. Кужеков, С.В. Гончаров.-4е изд. доп. и перераб.- Ростов-н/Д:Феникс. 2010.-493с.