

**Федеральное агентство по образованию**  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**



Кафедра электротехники

и электроники

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Методические указания  
по выполнению лабораторных работ  
на персональном компьютере  
по дисциплине «Электротехника и электроника»  
для студентов всех специальностей

Санкт-Петербург 2006

УДК 621.3

**Русанов А.В.** Исследование электрических цепей методом компьютерного моделирования: Метод. указания по выполнению лабораторных работ на персональном компьютере по дисциплине «Электротехника и электроника» для студентов всех спец. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. – 34 с.

Методические указания составлены для лабораторных работ, выполнение которых предусмотрено программой учебного курса «Электротехника и электроника». Рассматриваемый учебный материал относится к разделу «Электрические цепи».

Выполнение лабораторных работ предполагает использование IBM-совместимого персонального компьютера.

Рецензент

Канд. техн. наук, доц. А.В. Зайцев

Рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

© Санкт-Петербургский государственный  
университет низкотемпературных  
и пищевых технологий, 2006

Санкт-Петербург 2006

УДК 621.3

**Русанов А.В.** Исследование электрических цепей методом компьютерного моделирования: Метод. указания по выполнению лабораторных работ на персональном компьютере по дисциплине «Электротехника и электроника» для студентов всех спец. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. – 38 с.

Методические указания составлены для лабораторных работ, выполнение которых предусмотрено программой учебного курса «Электротехника и электроника». Рассматриваемый учебный материал относится к разделу «Электрические цепи».

Выполнение лабораторных работ предполагает использование IBM-совместимого персонального компьютера.

Рецензент

Канд. техн. наук, доц. А.В. Зайцев

# ПОЛОЖЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРОГРАММЫ ELECTRONICS WORKBENCH

## 1. Назначение программы

Программа *Electronics Workbench* предназначена для моделирования и анализа работы электрических и электронных схем как на постоянном, так и переменном токе.

Вид рабочего окна программы, появляющегося после ее загрузки, показан на рис. 1.

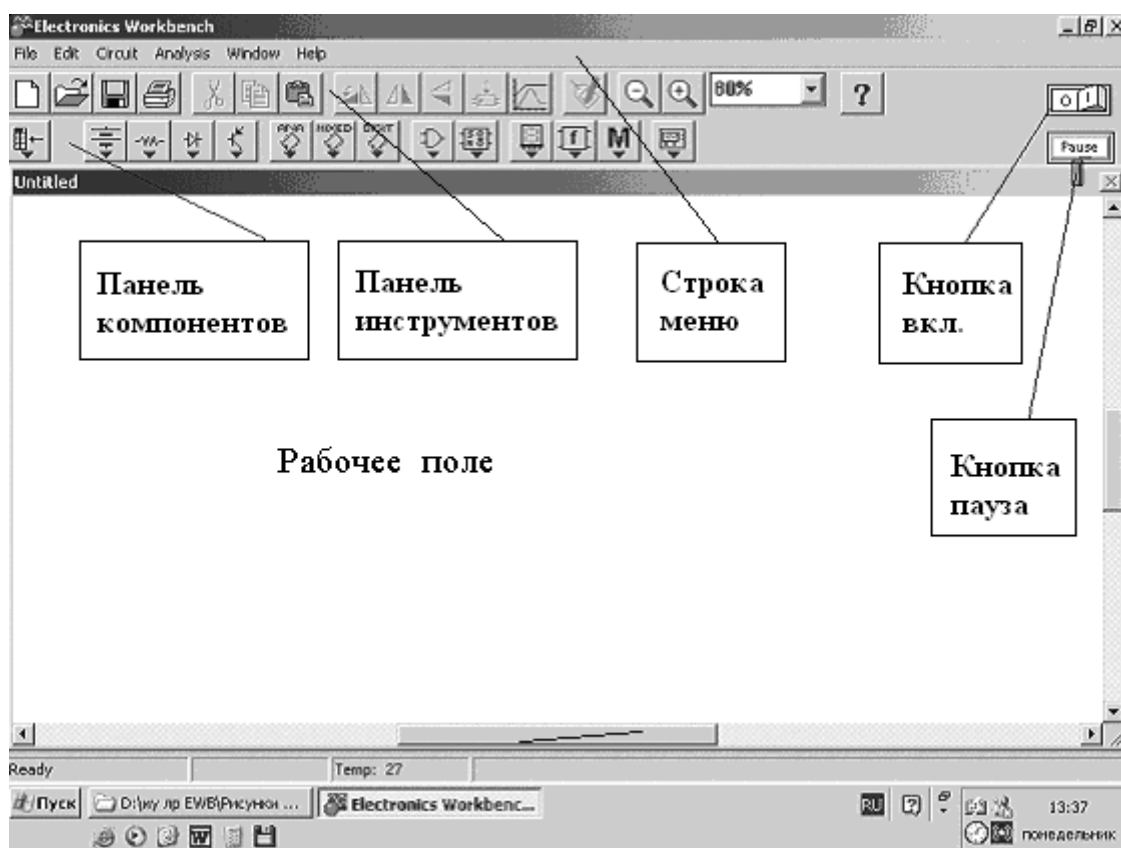


Рис. 1. Вид рабочего окна программы *Electronics Workbench*

## 2. Команды меню

Команды меню отображаются в рабочем окне программы в верхней его части в виде строки меню (рис. 2).



Рис. 2. Строка меню *Electronics Workbench*

Далее будут приведены некоторые команды программы *Electronics Workbench*, которые могут быть использованы при выполнении лабораторных работ.

### Меню *File*

Меню *File* предназначено для загрузки и записи файлов, получения копии выбранных для печати составных частей схемы, а также для импорта (экспорта) файлов в форматах других систем моделирования.

1. Первые четыре команды этого меню: *New* (Создать новый файл), *Open...* (Открыть имеющийся файл), *Save* (Сохранить), *Save As...* (Сохранить как...).

2. *Revert to Saved...* – стирание всех изменений, внесенных в текущем сеансе редактирования, и восстановление схемы в первоначальном виде.

3. *Print...* – выбор данных для вывода на принтер.

4. *Print Setup...* – настройка принтера.

5. *Exit* – выход из программы.

### Меню *EDIT*

Меню *EDIT* позволяет выполнять команды редактирования схем и копирования экрана.

1. *Cut* – стирание (вырезание) выделенной части схемы с сохранением ее в буфере обмена. Выделение одного компонента производится щелчком мыши на изображении компонента. Для выделения части схемы или нескольких компонентов необходимо поставить

курсор мыши в левый угол воображаемого прямоугольника, охватывающего выделяемую часть, нажать левую кнопку мыши и, не отпуская ее, протянуть курсор по диагонали этого прямоугольника, контуры которого появляются в начале движения мыши, и затем отпустить кнопку. Выделенные компоненты окрашиваются в красный цвет.

2. *Copy* – копирование выделенной части схемы в буфер обмена.

3. *Paste* – вставка содержимого буфера обмена на рабочее поле программы. Поскольку в *EWB* нет возможности помещать импортируемое изображение схемы или ее фрагмента в точно указанное место, то непосредственно после вставки, когда изображение еще является отмеченным (выделено красным) и может оказаться наложенным на создаваемую схему, его можно переместить в нужное место клавишами курсора или мышью. Таким образом перемещаются и предварительно выделенные фрагменты уже имеющейся на рабочем поле схемы.

4. *Delete* – стирание выделенной части схемы.

5. *Select All* – выделение всей схемы.

6. *Copybits* – команда превращает курсор в крестик, которым по правилу прямоугольника можно выделить нужную часть экрана; после отпущения левой кнопки мыши выделенная часть копируется в буфер обмена, после чего его содержимое может быть импортировано в любое приложение *Windows*. Копирование всего экрана производится нажатием клавиши *Print Screen*; копирование активной в данный момент части экрана, например диалогового окна, – комбинацией *Alt + Print Screen*.

7. *Show Clipboard* – показать содержимое буфера обмена.

### Меню *Circuit*

Меню *Circuit* используется при подготовке схем, а также для задания параметров моделирования.

1. *Rotate* – вращение выделенного компонента на 90°.

2. *Flip Horizontal* – повернуть элемент по горизонтали.

3. *Flip Vertical* – повернуть элемент по вертикали.

4. *Component Properties* – установка параметров элемента.

5. *Zoom In* – увеличение изображения элемента.

6. *Zoom Out* – уменьшение изображения элемента.

7. *Schematic Options* – обозначение элемента в схеме.

## Меню *Analysis*

Команды меню *Analysis* предназначены для анализа и управления процессом исследования собранной схемы.

1. *Activat* – запуск моделирования.
2. *Pause* – прерывание моделирования.
3. *Stop* – остановка моделирования. Эта и предыдущая команда могут быть выполнены также нажатием кнопок, расположенных в правом верхнем углу экрана.
4. *Analysis Options* – установка режимов моделирования.
5. *DC Operating Point* – постоянный ток.
6. *DC Sweep* – постоянное перемещение.
7. *AC Frequency* – изменение частоты.

## Меню *Window*

Команды меню *Window* предназначены для настройки рабочего стола.

1. *Arrange* – подготовить.
2. *Circuit* – цепь
3. *Description* – описание.
4. *Help* – справочная информация о программе.

## 3. Работа с программой

### Выбор элементов схемы


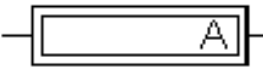
Требуемые для сборки схемы элементы, а также контрольно-измерительные приборы выбирают из панели компонентов (рис. 3) нажатием левой клавиши мыши.



Рис. 3. Панель компонентов

Панель компонентов состоит из пиктограмм группы компонентов. Щелчком мыши на одной из пиктограмм, расположенных на панели, можно открыть доступ к компонентам, входящим в группу. Элемент из выбранной группы выбирают и перемещают в рабочее окно мышью.

Условные графические обозначения элементов, приборов и источников питания, применяемые в программе *Electronics Workbench* и используемые в рассматриваемых лабораторных работах:

	– резистор;
	– катушка индуктивности;
	– переменный конденсатор;
	– переключатель;
	– заземление;
	– источник переменного напряжения;
	– источник напряжения, управляемый током;
	– вольтметр;
	– амперметр;
	– осциллограф.

### Сборка схемы

Размещенные в рабочем окне элементы необходимо «соединить» между собой в соответствии с исследуемой электрической схемой. Соединение элементов схемы проводниками выполняется с помощью мыши. Для этого указатель мыши подводят к выводу соединяемого элемента. При этом на выводе элемента появляется черная точка.



При нажатой левой кнопке мыши ее указатель следует переместить к выводу элемента, который нужно присоединить, до появления на этом выводе черной точки. После отпускания кнопки мыши выводы элементов соединятся проводником (сплошная черная линия).

Для осуществления поворота элемента необходимо выделить его красным цветом (однократное нажатие левой кнопки мыши). Затем из меню *Circuit* вызвать команду *Rotate* и нажать левую кнопку мыши.

Точная установка элемента на место осуществляется выделением его левой кнопкой мыши и перемещением при нажатой левой кнопке.

Удаление выделенного компонента осуществляется командой *Delete*.

### Установка значений параметров элементов схемы

Для установки значений параметров элементов схемы необходимо установить указатель мыши на соответствующий элемент схемы и дважды нажать левую кнопку, при этом на экране появится окно элемента (например, резистор); с помощью клавиатуры или мыши выбрать параметр в соответствующем окне; после выбора параметра необходимо нажать клавишу окна элемента ОК.

### Включение схемы

Для включения собранной схемы следует мышью установить указатель мыши на пиктограмму (выключатель), расположенную в правом верхнем углу над рабочим окном, и один раз нажать левую кнопку.

Пауза в работе схемы обеспечивается нажатием кнопки *Pause*, расположенной ниже выключателя. Повторное нажатие кнопки *Pause* возобновляет работу схемы.

### Вывод на печать

В меню команд *File* левой кнопкой мыши выбрать и открыть файл распечатываемой схемы и затем нажать *Print*.

## Завершение работы с программой

Остановка процесса моделирования производится нажатием кнопки, расположенной в правом верхнем углу экрана.

Для завершения работы с программой *Electronics Workbench* в меню команд *File* выбрать команду *Exit* и в возникшем окне диалога ответить «Нет».

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1м

### ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

Моделируемая с помощью компьютера лабораторная установка состоит из источника переменного напряжения, подключенных к нему последовательно соединенных  $R_k$ -,  $L_k$ - и  $C$ - элементов ( $R_k$  и  $L_k$  – составляющие катушки индуктивности) и контрольно-измерительных приборов. Моделирование режимов работы исследуемой электрической цепи осуществляется при помощи клавиатуры компьютера и мыши.

На рис. 4 показана электрическая схема лабораторной установки для исследования линейной неразветвленной электрической цепи синусоидального тока.

#### Программа работы

1. Экспериментально выявить закономерности изменения электрического состояния цепи и по данным опытов построить графические зависимости:

$$U_k = f_1(c); U_c = f_2(c); I = f_3(c).$$

2. Опытным путем определить параметры электрической цепи при резонансе напряжений.

3. Сделать выводы по работе. Сопоставить полученные результаты расчетов и опытов с известными зависимостями из теоретического курса по линейным неразветвленным электрическим цепям синусоидального тока.

#### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с электрической схемой, приборами и элементами (см. рис. 4). Изучить принципиальную схему электрической цепи.

2. Ответить на контрольные вопросы и расписаться в журнале по технике безопасности. Получить разрешение преподавателя на выполнение лабораторной работы. Включить компьютер. Запустить программу *Electronics Workbench*.

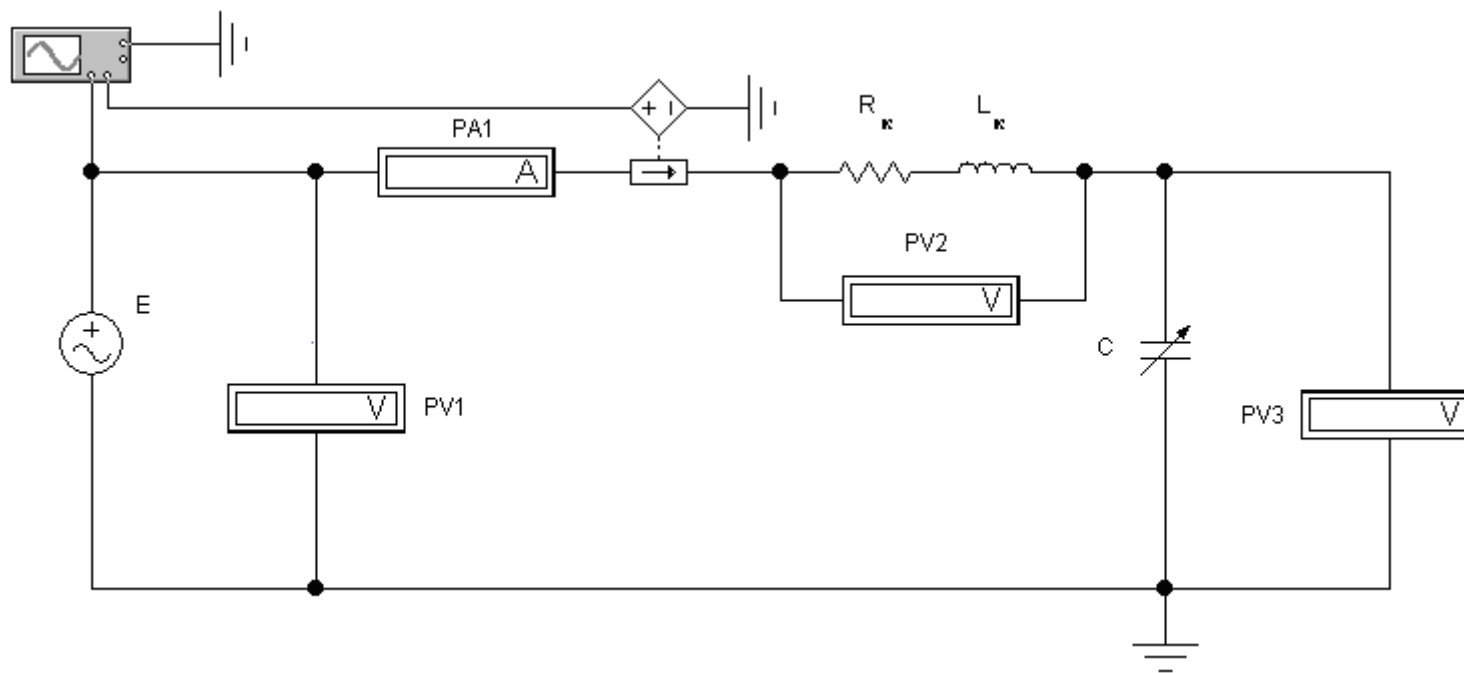


Рис. 4. Электрическая схема линейной неразветвленной электрической цепи синусоидального тока

3. Приступить к непосредственному компьютерному моделированию экспериментов в следующем порядке:

1) собрать компьютерную модель схемы. Для этого, используя панель групп библиотеки компонентов и мышшь, поместить на рабочее поле программы *Electronics Workbench* модели элементов схемы и измерительных приборов. Из этих элементов собрать модель электрической схемы и подключенных к ней измерительных приборов в соответствии с рис. 4. Соединение элементов производится с помощью мышши;

2) установить начальные параметры элементов схемы и источников:

$$R_k = 120 \text{ Ом};$$

$$L_k = 1 \text{ Гн};$$

$$E = 20 \text{ В}; \quad f = 50 \text{ Гц};$$

3) задать параметры измерительных приборов. Установить измерительные приборы (вольтметры и амперметр) в режим работы АС (измерение переменного напряжения или тока). Остальные параметры по умолчанию;

4) предъявить подготовленную модель схемы для проверки преподавателю.

С разрешения преподавателя включить схему и произвести измерения следующим образом:

изменяя емкость конденсатора от 5 до 30 мкФ, измерять с помощью вольтметров  $PV_2$  и  $PV_3$  величины напряжения  $U_k$ ,  $U_c$ , а также ток  $I$  с помощью амперметра  $PA1$ ;

5) включить осциллограф (двумя щелчками по пиктограмме осциллографа) и, наблюдая по нему угол сдвига фаз между током и напряжением в исследуемой цепи при изменении емкости конденсатора, определить величины  $U_k$ ,  $U_c$ ,  $I$  при резонансе.

**Примечание:**

установить длительность развертки луча 5 мс/дел ( $Time\ base = 5/00\ ms/div$ );

установить для канала *A* чувствительность отклонения луча по вертикали 10 В/дел ( $Channel\ A = 10\ V/div$ );

установить для канала *B* чувствительность отклонения луча по вертикали 100 мВ/дел ( $Channel\ B = 100\ mV/div$ ).

Данные наблюдений занести в табл. 1;

б) остановить процесс моделирования.

Таблица 1

№ опыта	C, мкФ	Измеряемые величины			Вычисленные величины	
		I, А	U <sub>к</sub> , В	U <sub>с</sub> , В	Z, Ом	cos φ
1	5					
2	10					
3	15					
4	20					
5	25					
6	30					
7	Срез					

4. Предъявить данные опытов для проверки преподавателю и с его разрешения модель установки разобрать. Закрывать созданный файл без сохранения его данных. Рабочее место привести в исходное состояние и предъявить лаборанту.

5. Осуществить расчет по результатам экспериментальных данных.

По опытным данным подсчитать Z, cos φ:

$$Z = \frac{E}{I}; \quad \cos \varphi = \frac{R_k}{Z}.$$

Построить:

а) графики зависимостей:

$$U_k = f_1(c); \quad U_c = f_2(c); \quad I = f_3(c).$$

Все характеристики строить на одном графике с условным разнесением осей ( $U_k$ ,  $U_c$ ,  $I$ ) по вертикали;

б) три векторные диаграммы исследуемой последовательной цепи при  $X_L < X_c$ ,  $X_L = X_c$ ,  $X_L > X_c$ .

### Содержание отчета

1. Программа работы.
2. Электрическая схема экспериментальной установки.
3. Таблицы с измеренными величинами.

4. Экспериментальные характеристики.
5. Векторные диаграммы.
6. Используемые формулы.
7. Краткие выводы. Сопоставление экспериментальных характеристик с известными характеристиками из теории.

### **Контрольные вопросы при допуске к лабораторной работе**

1. Цель и программа работы.
2. Что называется резонансом напряжений?
3. Почему при резонансе напряжений ток в цепи достигает своего наибольшего значения?
4. При каком условии в цепи наступает резонанс напряжений?
5. Как рассчитать действующий ток в неразветвленной цепи синусоидального тока?
6. Как записывается закон Ома для цепи с последовательным соединением разных по характеру нагрузок?

**При защите лабораторной работы студент должен знать ответы на вопросы для допуска к лабораторной работе, а также на следующие:**

1. Как определить коэффициент мощности в цепи, чему он равен при резонансе напряжений?
2. От каких величин зависит значение угла сдвига фаз между напряжением и током?
3. По какой формуле рассчитывают активную, реактивную и полную мощность в линейной электрической цепи синусоидального тока?
4. Как строятся векторные диаграммы для цепи с последовательным соединением катушки индуктивности и емкости?
5. Как из векторных диаграмм получить треугольники сопротивлений и напряжений?
6. Чему равно полное сопротивление цепи при резонансе напряжений?
7. Какой характер (по нагрузке) несет в себе цепь с последовательным соединением катушки индуктивности и емкости при резонансе напряжений?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2м

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА РЕЗОНАНС ТОКОВ

#### Цель работы

1. Исследовать электрическое состояние линейной разветвленной цепи синусоидального тока при различных условиях.
2. Изучить особенности резонансных явлений в электрической цепи при параллельном соединении  $R$ -,  $L$ - и  $C$ -элементов.
3. Экспериментально подтвердить теоретические знания по разветвленным электрическим цепям синусоидального тока.

#### Лабораторная установка

Компьютерная модель лабораторной установки по исследованию разветвленной электрической цепи включает источник переменного напряжения, подключенных к нему параллельно соединенных  $R_k$ -,  $L_k$ - и  $C$ - элементов ( $R_k$  и  $L_k$  – составляющие катушки индуктивности) и контрольно-измерительных приборов. Моделирование режимов работы исследуемой электрической цепи осуществляется при помощи клавиатуры компьютера и мыши.

На рис. 5 показана электрическая схема лабораторной установки для исследования линейной разветвленной электрической цепи синусоидального тока.

#### Программа работы

1. Экспериментально выявить закономерности изменения электрического состояния цепи и по данным опытов построить графические зависимости:

$$I = f_1(c); I_k = f_2(c); I_c = f_3(c).$$

2. Опытным путем определить параметры электрической цепи при резонансе токов.

3. Сделать выводы по работе. Сопоставить полученные результаты расчетов и опытов с известными зависимостями из теоретического курса по линейным разветвленным электрическим цепям синусоидального тока.



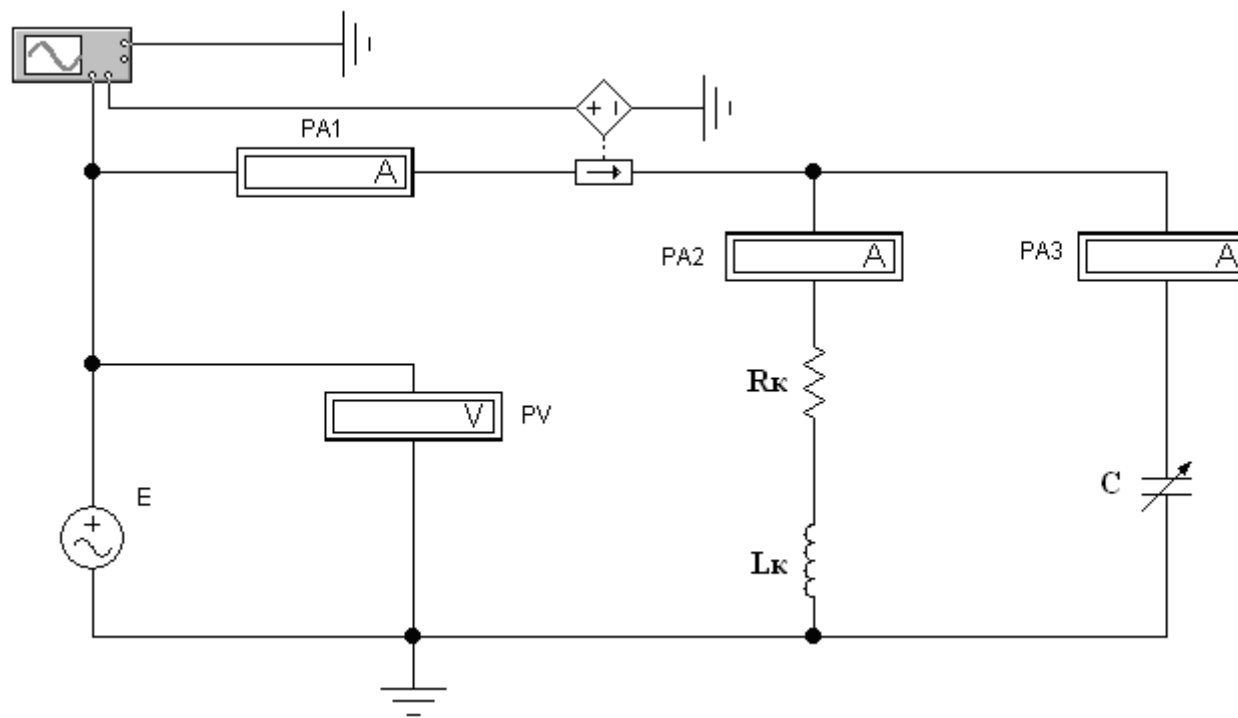


Рис. 5. Электрическая схема линейной разветвленной электрической цепи синусоидального тока

## Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с электрической схемой, приборами и элементами (см. рис. 5). Изучить принципиальную схему электрической цепи.

2. Ответить на контрольные вопросы и расписаться в журнале по технике безопасности. Получить разрешение преподавателя на выполнение лабораторной работы. Включить компьютер. Запустить программу *Electronics Workbench*.

3. Приступить к непосредственному компьютерному моделированию экспериментов в следующем порядке:

1) собрать компьютерную модель схемы. Для этого, используя панель групп библиотеки компонентов и мышь, поместить на рабочее поле программы *Electronics Workbench* модели элементов схемы и измерительных приборов. Из этих элементов собрать модель электрической схемы и подключенных к ней измерительных приборов в соответствии с рис. 5. Соединение элементов производится с помощью мыши;

2) установить начальные параметры элементов схемы и источников:

$$R_k = 200 \text{ Ом};$$

$$L_k = 1 \text{ Гн};$$

$$E = 100 \text{ В}; f = 50 \text{ Гц};$$

3) задать параметры измерительных приборов. Установить измерительные приборы амперметры и вольтметр в режим работы АС (измерение переменного напряжения или тока). Установить внутреннее сопротивление амперметра РА3 равным 1 Ом. Остальные параметры по умолчанию;

4) предъявить подготовленную модель схемы для проверки преподавателю.

С разрешения преподавателя включить схему;

5) произвести измерения в электрической цепи, снимая показания приборов. При этом необходимо менять величину емкости  $C$  в диапазоне от 2 до 25 мкФ и измерить токи  $I$ ,  $I_k$  и  $I_c$ ;

6) Включить осциллограф (двумя щелчками по пиктограмме осциллографа) и, наблюдая по нему угол сдвига фаз между током и напряжением в исследуемой цепи при изменении емкости конденсатора, определить величины  $U_k$ ,  $U_c$ ,  $I$  при резонансе.

Примечание:

установить длительность развертки луча 0,01 с/дел (*Time base* = 0,01 s/div);

установить для канала *A* чувствительность отклонения луча по вертикали 50 В/дел (*Channel A* = 50 V/div);

установить для канала *B* чувствительность отклонения луча по вертикали 100 мВ/дел (*Channel B* = 100 mV/div).

Данные наблюдений занести в табл. 2;

7) остановить процесс моделирования.

Таблица 2

№ опыта	С, мкФ	Измеряемые величины			Вычисленные величины	
		$I$ , А	$I_k$ , А	$I_c$ , А	$y$ , 1/Ом	$\cos \varphi$
1	2					
2	5					
3	10					
4	15					
5	20					
6	25					
7	Срез					

4. Предъявить данные опытов для проверки преподавателю и с его разрешения модель установки разобрать. Закрывать созданный файл без сохранения его данных. Рабочее место привести в исходное состояние и предъявить лаборанту.

5. Осуществить расчет по результатам экспериментальных данных.

По опытным данным подсчитать  $y$  и  $\cos \varphi$ , используя для расчета следующие формулы:

$$y = \frac{I}{E}; \quad \cos \varphi = \frac{g_k}{y}.$$

Активная проводимость катушки индуктивности

$$g_k = \frac{R_k}{Z_k^2}$$

Полное сопротивление катушки индуктивности

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_L^2}.$$

Индуктивное сопротивление

$$X_L = 2\pi f L_k.$$

Построить:

а) графики зависимостей:

$$I = f_1(c); I_k = f_2(c); I_c = f_3(c).$$

Все характеристики строить на одном графике с условным разнесением осей ( $I_k$ ,  $I_c$ ,  $I$ ) по вертикали;

б) три векторные диаграммы исследуемой параллельной цепи при  $b_L < b_c$ ,  $b_L = b_c$ ,  $b_L > b_c$ .

### Содержание отчета

1. Номинальные данные используемых электроизмерительных приборов и оборудования.
2. Электрическая схема экспериментальной установки.
3. Программа работы.
4. Таблицы с вычисленными и измеренными величинами.
5. Экспериментальные характеристики.
6. Векторные диаграммы.
7. Используемые формулы.
8. Краткие выводы. Сопоставление экспериментальных характеристик с известными характеристиками из теории.

### Контрольные вопросы при допуске к лабораторной работе

1. В какой электрической цепи и при каких условиях может возникнуть резонанс токов?
2. Как можно добиться резонанса токов в цепи?

3. Как определить полную проводимость электрической цепи синусоидального тока?

4. Как определить активную и реактивную проводимость цепи?

5. Какое выражение является условием резонанса токов?

6. Выражение для закона Ома, соответствующее цепи с параллельным соединением катушки индуктивности и конденсатора.

**При защите лабораторной работы студент должен знать ответы на вопросы для допуска к лабораторной работе, а также на следующие:**

1. До какого значения целесообразно повышать коэффициент мощности?

2. Как рассчитать действующее значение тока в неразветвленной части электрической цепи синусоидального тока?

3. Как определить коэффициент мощности цепи, чему он равен при резонансе токов?

4. Векторные диаграммы для параллельного соединения катушки индуктивности и емкости.

5. Треугольники токов и проводимостей.

6. Чем различаются резонансы токов и напряжений по протекающим процессам и в векторном их изображении?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3м**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ ЗВЕЗДОЙ**

#### **Цель работы**

1. Опытным путем найти соотношение между действующими фазными и линейными напряжениями и токами при равномерной и неравномерной нагрузках.
2. Установить роль нулевого провода в работе трехфазной установки при различных нагрузках.
3. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и самостоятельных занятиях по трехфазным электрическим цепям при соединении звездой.

#### **Лабораторная установка**

Моделируемая с помощью компьютера лабораторная установка включает контрольно-измерительные приборы, трехфазную электрическую цепь, состоящую из трехфазного генератора переменного тока и подключенных к нему по четырехпроводной схеме приемников, соединенных звездой. Моделирование режимов работы приемников, режимов нагрузки осуществляется при помощи клавиатуры компьютера и мыши.

Питание установки осуществляется от сети переменного трехфазного тока.

На рис. 6 показана электрическая схема лабораторной установки для исследования трехфазной цепи при соединении приемников звездой.

#### **Программа работы**

1. Экспериментально установить соотношения между фазными и линейными напряжениями и токами.
2. Исследовать трехфазную систему переменного тока при соединении приемников звездой в различных режимах нагрузки фаз.
3. Построить векторные диаграммы напряжений и токов трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузках фаз.
4. Сделать выводы по работе, сопоставить полученные результаты с известными данными из теоретического курса.

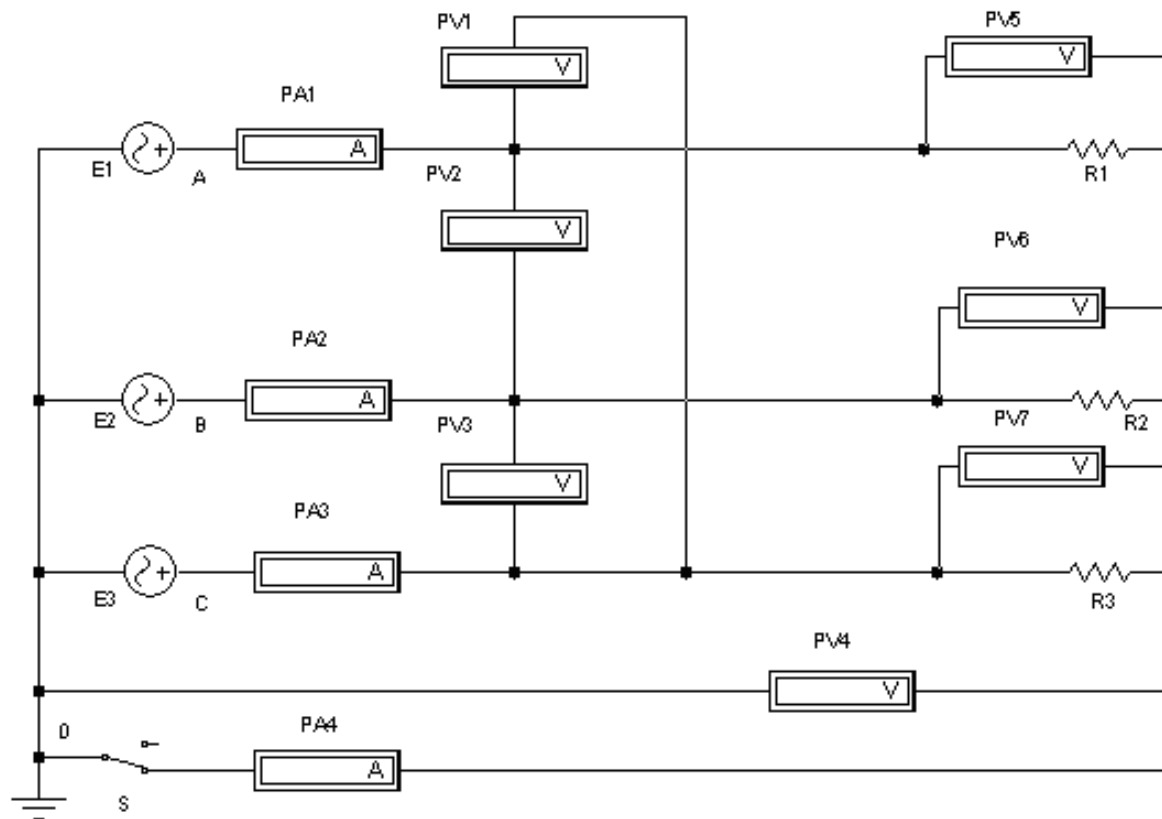


Рис. 6. Электрическая схема трехфазной цепи при соединении приемников звездой

## Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с электрической схемой, приборами и элементами (см. рис. 6). Изучить принципиальную схему электрической цепи.

2. Ответить на контрольные вопросы и расписаться в журнале по технике безопасности. Получить разрешение преподавателя на выполнение лабораторной работы. Включить компьютер. Запустить программу *Electronics Workbench*.

3. Приступить к непосредственному компьютерному моделированию экспериментов в следующем порядке:

1) собрать компьютерную модель схемы. Для этого, используя панель групп библиотеки компонентов и мышь, поместить на рабочее поле программы *Electronics Workbench* модели элементов схемы и измерительных приборов. Из этих элементов собрать модель электрической схемы и подключенных к ней измерительных приборов в соответствии с рис. 6. Соединение элементов производится с помощью мыши;

2) установить начальные параметры элементов схемы и источников:  $R = 100 \text{ Ом}$ ; ЭДС источников:  $E = 220 \text{ В}$ ,  $f = 50 \text{ Гц}$ .

Установить начальные фазы трех источников синусоидального напряжения – 0, 120, 240 градусов соответственно;

3) задать параметры измерительных приборов.

Установить все измерительные приборы в режим работы АС (измерение переменного напряжения или тока). Остальные параметры по умолчанию;

4) предъявить подготовленную модель схемы для проверки преподавателю.

С разрешения преподавателя включить схему и произвести измерения согласно табл 3.

Показания приборов занести в табл. 3, изменяя величины сопротивлений фаз.

**П р и м е ч а н и е .** Действующие значения линейных токов, равные фазным токам, определяются по амперметрам  $PA_1$ ,  $PA_2$ ,  $PA_3$ , а ток в нулевом проводе – по амперметру  $PA_4$ . Напряжение  $U_0$  измеряется вольтметром  $PV_4$ . Переключатель  $S$  управляется клавишей ПРОБЕЛ.



Таблица 3

№ опыта	Соединение фаз	Состояние нагрузки	Сопротивление фазы			Измеряемые величины												Вычисляемые величины				
			A, Ом	B, Ом	C, Ом, МОм*	$I_A$ , А	$I_B$ , А	$I_C$ , А	$I_0$ , А	$U_a$ , В	$U_b$ , В	$U_c$ , В	$U_{AB}$ , В	$U_{BC}$ , В	$U_{CA}$ , В	$U_0$ , В	$U_{л}/U_{ф}$	$P_a$ , Вт	$P_b$ , Вт	$P_c$ , Вт	$P$ , Вт	
1	Y	$R1=R2=R3$	100	100	100																	
2	$Y_0$	$R1=R2=R3$	100	100	100																	
3	Y	$R1 \neq R2 \neq R3$	100	75	50																	
4	$Y_0$	$R1 \neq R2 \neq R3$	100	75	50																	
5	Y	$R1=R2, R3=\infty$	100	100	100*																	
6	$Y_0$	$R1=R2, R3=\infty$	100	100	100*																	
7	Кор. замыкание	$R1=0; R2=R3$	0,1	50	50																	

4. Последовательно установить различные режимы работы приемников, соединенных звездой.

Режимы работы, подлежащие рассмотрению:

- 1) максимальная равномерная нагрузка трех фаз ( $R_1 = R_2 = R_3$ ) без нулевого провода;
- 2) то же с нулевым проводом;
- 3) неравномерная нагрузка фаз ( $R_1 \neq R_2 \neq R_3$ ) без нулевого провода;
- 4) то же с нулевым проводом;
- 5) неравномерная нагрузка фаз ( $R_1 = R_2; R_3 = \infty$ ) без нулевого провода;
- 6) то же с нулевым проводом;
- 7) короткое замыкание одной из фаз при равномерной нагрузке двух других фаз ( $R_2 = R_3; R_1 = 0$ ) без нулевого провода (выключатель  $S$  разомкнут).

Для проведения опыта короткого замыкания необходимо отключить схему, замкнуть накоротко фазу  $A$ , разомкнуть выключатель в нулевом проводе, включить схему и произвести измерения.

Следует иметь в виду, что вольтметр  $PV_0$  будет давать показания, отличные от нуля, только в случае неравномерной нагрузки фаз и отключенном выключателе  $S$ . Амперметр  $PA_4$  будет давать показания, отличные от нуля, в случае неравномерной нагрузки фаз и включенном выключателе  $S$ . Соотношение между линейными и фазными напряжениями определяется только при равномерной нагрузке фаз.

5. Остановить процесс моделирования

6. Предъявить данные опытов для проверки преподавателю и с его разрешения модель установки разобрать. Закрыть созданный файл без сохранения его данных. Рабочее место привести в исходное состояние и предъявить лаборанту.

7. Осуществить расчет по результатам экспериментальных данных.

Мощности фаз рассчитываются по формулам

$$P_a = U_a I_a; \quad P_b = U_b I_b; \quad P_c = U_c I_c;$$

$$P = P_a + P_b + P_c.$$

8. Построить векторные диаграммы напряжений и токов для всех исследованных режимов работы.

## Содержание отчета

1. Программа работы.
2. Электрическая схема лабораторной установки.
3. Таблица с измеренными и вычисленными величинами.
4. Используемые формулы.
5. Векторные диаграммы напряжений и токов.
6. Краткие выводы. Сопоставление опытных и расчетных данных с известными положениями из теории.

## Контрольные вопросы при допуске к лабораторной работе

1. Программа работы.
2. Какое соединение трехфазной цепи называется соединением звездой?
3. Как называются провода, отходящие от трехфазного генератора?
4. Какая нагрузка фаз называется симметричной?
5. В каком соотношении находятся действующие значения фазных и линейных напряжений при симметричной нагрузке фаз.
6. Для какой нагрузки целесообразно включение нейтрального провода?
7. В каком соотношении находятся линейные и фазные токи при соединении звездой с нейтральным проводом?
8. Как находится активная мощность каждой фазы и всей трехфазной цепи?

**При защите лабораторной работы студент должен знать ответы на вопросы для допуска к лабораторной работе, а также на следующие:**

1. Что произойдет, если нагрузка фаз будет несимметричной, а нейтральный провод не подключен?
2. Как сказывается обрыв нейтрального провода на работе трехфазной установки при различных режимах?
3. К чему приводит обрыв линейного провода в трехфазной электрической цепи?
4. Чему равен ток в нейтральном проводе?
5. Как построить векторные диаграммы токов и напряжений соединения звездой для всех указанных режимов?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4м**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ ТРЕУГОЛЬНИКОМ**

#### **Цель работы**

1. Опытным путем найти соотношения между действующими фазными и линейными напряжениями и токами при симметричном режиме.

2. Ознакомиться с режимами работы при равномерной и неравномерной нагрузках фаз и по опытными данным построить векторные диаграммы.

3. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и самостоятельных занятиях по трехфазным электрическим цепям.

#### **Лабораторная установка**

Моделируемая с помощью компьютера лабораторная установка включает контрольно-измерительные приборы, трехфазную электрическую цепь, состоящую из трехфазного генератора переменного тока и подключенных к нему приемников, соединенных треугольником. Моделирование режимов работы приемников, режимов нагрузки осуществляется при помощи клавиатуры компьютера и мыши.

Питание установки осуществляется от сети переменного трехфазного тока.

На рис. 7 показана электрическая схема лабораторной установки для исследования трехфазной цепи при соединении приемников треугольником.

#### **Программа работы**

1. Найти соотношения между фазными и линейными напряжениями и токами.

2. Исследовать трехфазную систему переменного тока при соединении приемников треугольником в различных режимах нагрузки фаз.

3. Построить векторные диаграммы для различных режимов работы системы.

4. Сделать выводы по работе. Сопоставить полученные результаты с известными данными из теоретического курса.

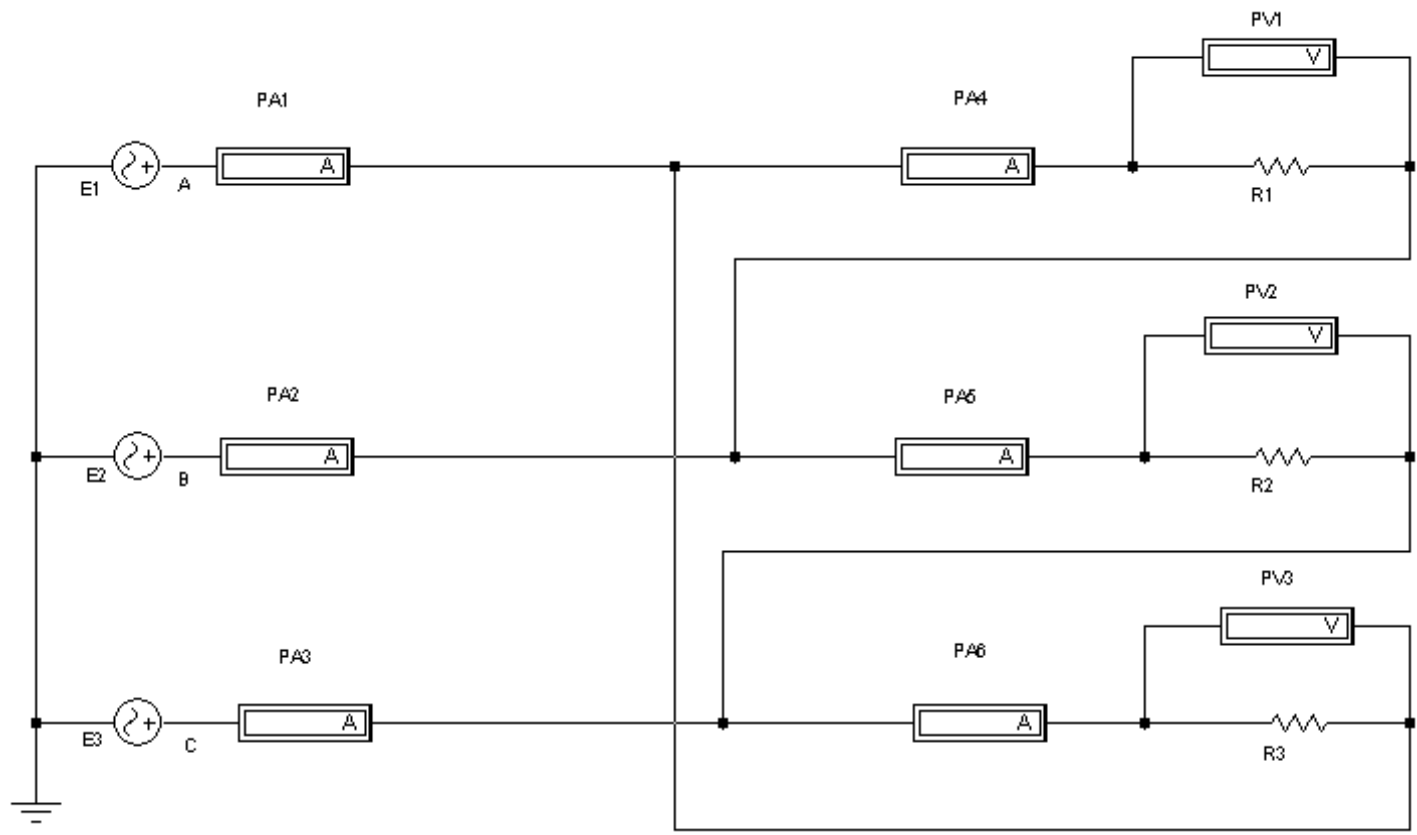


Рис. 7. Электрическая схема трехфазной цепи при соединении приемников треугольником

## Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с электрической схемой, приборами и элементами (см. рис. 7). Изучить принципиальную схему электрической цепи.

2. Ответить на контрольные вопросы и расписаться в журнале по технике безопасности. Получить разрешение преподавателя на выполнение лабораторной работы. Включить компьютер. Запустить программу *Electronics Workbench*.

3. Приступить к непосредственному компьютерному моделированию экспериментов в следующем порядке:

1) собрать компьютерную модель схемы. Для этого, используя панель групп библиотеки компонентов и мышшь, поместить на рабочее поле программы *Electronics Workbench* модели элементов схемы и измерительных приборов. Из этих элементов собрать модель электрической схемы и подключенных к ней измерительных приборов в соответствии с рис. 7. Соединение элементов производится с помощью мыши;

2) установить начальные параметры элементов схемы и источников:  $R = 100 \text{ Ом}$ ; ЭДС источников:  $E = 220 \text{ В}$ ,  $f = 50 \text{ Гц}$ .

Установить начальные фазы трех источников синусоидального напряжения – 0, 120, 240 градусов соответственно;

3) задать параметры измерительных приборов.

Установить все измерительные приборы в режим работы АС (измерение переменного напряжения или тока). Остальные параметры по умолчанию;

4) предъявить подготовленную модель схемы для проверки преподавателю.

С разрешения преподавателя включить схему и произвести измерения согласно табл. 4.

**П р и м е ч а н и е .** В схеме амперметрами PA1, PA2, PA3 определяются линейные токи  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ , а амперметрами PA4, PA5, PA6 фазные токи  $I_{ab}$ ,  $I_{bc}$ ,  $I_{ca}$ . Напряжения измеряются вольтметрами PV1–PV3;

Таблица 4

№ опыта	Состояние нагрузки	Сопротивление фазы			Измерение									Вычисление				
		A, Ом	B, Ом MOM*	C, Ом MOM*	$I_A$ , А	$I_B$ , А	$I_C$ , А	$I_{ab}$ , В	$I_{bc}$ , В	$I_{ca}$ , В	$U_{AB}$ , В	$U_{BC}$ , В	$U_{CA}$ , В	$\frac{I_{\Delta}}{I_{\Phi}}$	$P_{ab}$ , Вт	$P_{bc}$ , Вт	$P_{ca}$ , Вт	$P_{\text{цепи}}$ , Вт
1	R1=R2=R3	100	100	100														
2	R1≠R2≠R3	100	75	50														
3	R1≠R2, R3=∞	100	75	100*														
4	R1, R2=∞ R3=∞	100	100*	100*														
5	R1≠R2≠R3 (При обрыве линейного провода фазы C)	100	75	50														

5) последовательно установить различные режимы работы приемников, соединенных треугольником, изменяя величину сопротивлений фаз.

Режимы работы, подлежащие рассмотрению:

- равномерная нагрузка фаз ( $R_1 = R_2 = R_3$ );
- неравномерная нагрузка фаз ( $R_1 \neq R_2 \neq R_3$ );
- неравномерная нагрузка фаз ( $R_1 \neq R_2; R_3 = \infty$ );
- неравномерная нагрузка фаз ( $R_1, R_2 = \infty; R_3 = \infty$ );
- неравномерная нагрузка фаз ( $R_1 \neq R_2 \neq R_3$ ) с обрывом линейного провода фазы  $C$ .

**П р и м е ч а н и е.** Обрыв линейного провода осуществляется отключением провода от питающей фазы  $C$ .

При каждом новом состоянии нагрузки измеряют линейные и фазные напряжения и токи. Показания приборов записывают в табл. 4.

4. Остановить процесс моделирования.

5. Предъявить данные опытов для проверки преподавателю и с его разрешения модель установки разобрать. Закрывать созданный файл без сохранения его данных. Рабочее место привести в исходное состояние и предъявить лаборанту.

6. Построить векторные диаграммы напряжений и токов для всех исследованных режимов работы.

### **Содержание отчета**

1. Программа работы.
2. Электрическая схема лабораторной установки.
3. Таблица с измеренными и вычисленными величинами.
4. Используемые формулы.
5. Векторные диаграммы напряжений и токов.
6. Краткие выводы.

### **Контрольные вопросы при допуске к лабораторной работе**

1. Программа и порядок выполнения работы.
2. Какое соединение трехфазной цепи называется треугольником?
3. Какая нагрузка фаз называется симметричной?



4. В каком соотношении находятся линейные напряжения при несимметричной нагрузке фаз, соединенных треугольником?

5. Какое существует соотношение между фазными и линейными напряжениями при соединении треугольником?

6. Как определить мощность одной фазы и всей цепи?

**При защите лабораторной работы студент должен знать ответы на вопросы для допуска к лабораторной работе, а также на следующие:**

1. Как влияет на линейный ток переключение приемников со звезды на треугольник?

2. Как работают приемники, если при неравномерной нагрузке фаз выйдет из строя один из линейных проводов?

3. Как строятся векторные диаграммы при соединении треугольником для всех режимов, указанных в табл. 4?

4. Какие существуют соотношения между фазными и линейными токами и для каких режимов работы они справедливы?

5. Уметь построить векторные диаграммы токов и напряжений при соединении треугольником, если нагрузка в фазах разная по характеру (активная, индуктивная, емкостная).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Касаткин А.С., Немцов М.В.** Электротехника. – М.: Высш. шк., 2002. – 543 с.

2. **Карлащук В.И.** Электронная лаборатория на IBM PC. – М.: СОЛОН-Р, 2001. – 726 с.

3. **Панфилов Д.И., Иванов И.С., Чепурин И.Н.** Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Практикум на Electronics Workbench. Т. 1 Электротехника. – М.: Изд. Додека, 1999. – 304 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПОЛОЖЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРОГРАММЫ ELECTRONICS WORKBENCH.....	3
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1м</b> ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА. РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ.....	13
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2м</b> ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА. РЕЗОНАНС ТОКОВ .....	15
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3м</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ ЗВЕЗДОЙ .....	21
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4м</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПРИЕМНИКОВ ТРЕУГОЛЬНИКОМ.....	27
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	32

Русанов Александр Викторович

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Методические указания  
по выполнению лабораторных работ  
на персональном компьютере  
по дисциплине «Электротехника и электроника»  
для студентов всех специальностей

*Редактор*  
Е.О. Трусова

*Корректор*  
Н.И. Михайлова

*Компьютерная верстка*  
Н.В. Гуральник

---

Подписано в печать 18.11.2006. Формат 60×84 1/16  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,09. Печ. л. 2,25. Уч.-изд. л. 2,06  
Тираж 500 экз. Заказ № С 84

---

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9  
ИПЦ СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9