

## ВВЕДЕНИЕ

Система схемотехнического моделирования Electronics Workbench (EWB) предназначена для моделирования и анализа электрических схем.

EWB может проводить анализ схем на постоянном (DC) и переменном (AC) токах. При анализе на постоянном токе определяется рабочая точка схемы в установившемся режиме работы. Результаты этого анализа не отражаются на приборах, они используются для дальнейшего анализа схемы. Анализ на переменном токе использует результаты анализа на постоянном токе для получения линеаризованных моделей нелинейных компонентов. Анализ схем в режиме AC может проводиться как во временной, так и в частотной областях.

В EWB также можно исследовать переходные процессы при воздействии на схемы входных сигналов различной формы. Программа позволяет производить анализ цифро-аналоговых и цифровых схем большой степени сложности. Имеющиеся в программе библиотеки включают в себя большой набор широко распространённых электронных компонентов. Есть возможность подключения и создания новых библиотек компонентов.

Широкий набор приборов позволяет производить измерения различных величин, задавать входные воздействия, строить графики. Все приборы изображаются в виде, максимально приближенном к реальному, поэтому работать с ними просто и удобно. Программа позволяет разместить схему таким образом, чтобы были чётко видны все соединения элементов и одновременно вся схема целиком.

Результаты моделирования можно вывести на принтер или импортировать в текстовый или графический редактор для их дальнейшей обработки.

Программа EWB совместима с программой P-SPICE, т.е. предоставляет возможность экспорта и импорта схем и результатов измерений в различные её версии.

Программа использует стандартный интерфейс Windows, что значительно облегчает её использование.

Для установки программы необходимы:

- не менее 16 МВ свободного пространства на жёстком диске;
- операционная система Microsoft Windows XP, Vista;
- манипулятор типа мышь.

EWB или Multisim являются нерусифицированными программными продуктами. В данном пособии рассматривается английская версия, поэтому рядом с названием элемента или пункта меню в скобках указывается оригинальное, а также разбирается меню программы.

В библиотеки компонентов программы входят пассивные элементы, транзисторы, управляемые источники, управляемые ключи, гибридные элементы, индикаторы, логические элементы, триггерные устройства, цифровые и аналоговые элементы, специальные комбинационные и последовательные схемы. Активные

элементы могут быть представлены моделями как идеальных, так и реальных элементов. Возможно также создание своих моделей элементов и добавление их в библиотеки элементов.

В программе используется большой набор приборов для проведения измерений: амперметр, вольтметр, осциллограф, мультиметр, Боде-плоттер (графопостроитель частотных характеристик схем), функциональный генератор, генератор слов, логический анализатор и логический преобразователь.

EWB позволяет строить схемы различной степени сложности при помощи следующих операций:

- выбор элементов и приборов из библиотек;
- перемещение элементов и схем в любое место рабочего поля;
- поворот элементов и групп элементов на углы, кратные  $90^\circ$ ;
- копирование, вставка или удаление элементов, групп элементов, фрагментов схем и целых схем;
- изменение цвета проводников;
- выделение цветом контуров схем для более удобного восприятия;
- одновременное подключение нескольких измерительных приборов и наблюдение их показаний на экране монитора;
- присваивание элементу условного обозначения;
- изменение параметров элементов в широком диапазоне.

Все операции производятся при помощи мыши и клавиатуры. Управление только с клавиатуры невозможно.

Путём настройки приборов можно:

- изменять шкалы приборов в зависимости от диапазона измерений;
- задавать режим работы прибора;
- задавать вид входных воздействий на схему (постоянные и гармонические токи и напряжения, треугольные и прямоугольные импульсы).

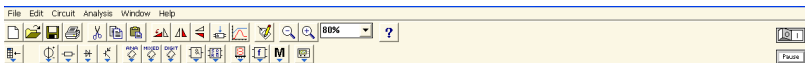
Графические возможности программы позволяют:

- одновременно наблюдать несколько кривых на графике;
- отображать кривые на графиках различными цветами;
- измерять координаты точек на графике;
- импортировать данные в графический редактор, что позволяет произвести необходимые преобразования рисунка и вывод его на принтер.

EWB позволяет использовать результаты, полученные в программах P-SPICE, PCB, а также передавать результаты на EWB в эти программы. Можно вставить схему или её фрагмент в текстовый редактор и напечатать в нём пояснения или замечания по работе схемы.

# 1. ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА EWB

Программа EWB представляет собой средство для программной разработки, тестирования и имитации электронных схем. Интерфейс пользователя состоит из полосы меню, панели инструментов и рабочей области.



Полоса меню состоит из следующих компонентов: меню работы с файлами (File), меню редактирования (Edit), меню работы с цепями (Circuit), меню анализа схем (Analysis), меню работы с окнами (Window), меню вызова справки (Help).

Панель инструментов состоит из “быстрых кнопок”, имеющих аналоги в меню, кнопок запуска и приостановки схем, набора радиоэлектронных аналоговых и цифровых деталей, индикаторов, элементов управления и инструментов.

Рабочее пространство (Workspace) – это самая большая центральная область – место для непосредственного моделирования схемы.

Рассмотрим подробнее меню программы.

## 1. Меню **File** (Файл).

Меню File позволяет осуществить операции работы с файлами.

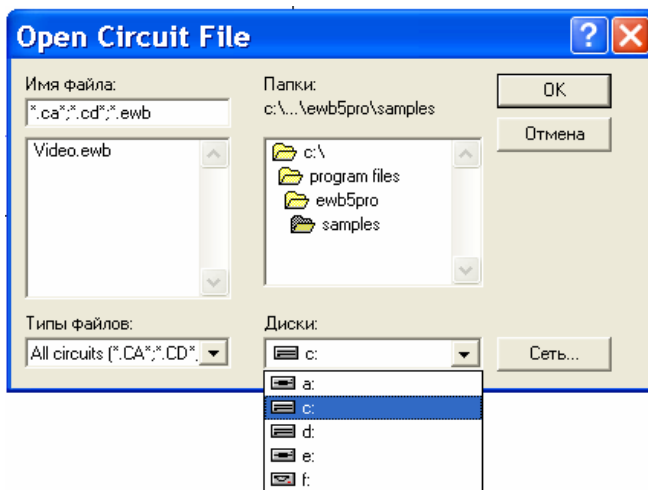
**New (Новый)** – **Ctrl+N**. Данная операция предназначена для создания новой схемы. При этом создаётся безымянное окно, которое может использоваться для создания схемы. Если перед этим были проделаны какие-либо изменения в текущей схеме, то пользователю будет

New	Ctrl+N
Open...	Ctrl+O
Save	Ctrl+S
Save As...	
Revert to Saved...	
Import...	
Export...	
Print...	Ctrl+P
Print Setup...	
Exit	Alt+F4
Install...	

предложено сохранить её перед закрытием. При запуске EWB операция выполняется автоматически. По умолчанию схема именуется как Untitled.ewb.

**Open (Открыть)** – **Ctrl+O**. Операция предназначена для открытия уже существующего файла схемы. Отображает стандартное диалоговое окно открытия файла, в котором необходимо выбрать диск и каталог, содержащий файл схемы,

который вы хотите открыть. Открывать можно только файлы с расширениями .ca, .ca3, .cd3, .ca4 и .ewb.



**Save (Сохранить) – Ctrl+S.** Сохраняет текущий файл схемы. Отображается стандартное диалоговое окно сохранения файла, в котором необходимо выбрать диск и каталог, где нужно сохранить схему, и название файла. Расширение .ewb добавляется к имени файла автоматически.

**Save As (Сохранить Как).** Команда аналогична предыдущей операции, но сохраняет текущую схему с новым именем файла, оставляя первоначальную схему неизменной. Обычно эту команду используют, чтобы безопасно экспериментировать с копией схемы, без изменения оригинала.

**Revert to Save (Заменить сохранённым).** Данная команда используется для восстановления текущей схемы из файла, в котором она последний раз сохранялась.

**Print (Печать) – Ctrl+P.** Команда предназначена для полной или частичной распечатки схемы и/или приборов. Для выполнения операции необходимо выбрать элементы, которые будут напечатаны, в порядке, в котором вы хотите их напечатать.

При выборе этой команды на экране появляется диалоговое окно, в котором вы можете установить следующие параметры.

1. Изменить принтер. Для этого нажмите мышью кнопку Specific Printer (Указать принтер), а затем выберите необходимый вам принтер из выпадающего списка установленных в системе принтеров (для получения информации по установленным принтерам смотрите руководство по Windows.)

2. Выбрать ориентацию изображения. У режима Portrait (Портрет) длина больше, чем ширина, а у Landscape (Ландшафт) наоборот.

3. Изменить размер бумаги и её источник. Для этого нажмите кнопку мыши на текущем значении интересующего параметра и выберите новый из появившегося списка.

4. Изменить интенсивность (светлее – темнее) или чёткость печати можно через кнопку Options (Параметры). Далее можно настраивать эти параметры, используя появившееся диалоговое окно.

**Print Setup (Настройка печати).** Эта операция предназначена для настройки принтера. EWB по умолчанию использует принтер, указанный в панели управления Windows (Windows Control Panel). Однако можно выбрать другой принтер или указать ориентацию изображения, размер бумаги, её источник и другие параметры, используя данную команду.

**Exit (Выход) – Alt+F4.** Операция предназначена для завершения работы с пакетом EWB. Если перед выходом из программы изменения в схеме не сохранены, то будет сделан запрос на сохранение.

**Install (Установка).** Операция предназначена для установки добавочных компонентов EWB. Для её выполнения будет запрошен диск, содержащий дополнительные компоненты.

## 2. Меню Edit (Правка).

Меню Edit позволяет осуществить операции редактирования.

Cut	Ctrl+X
Copy	Ctrl+C
Paste	Ctrl+V
Delete	Del
Select All	Ctrl+A

---

Copy as Bitmap

Show Clipboard

**Cut (Вырезать) – Ctrl+X.** Команда используется для удаления выбранных компонентов, схем или текста. При этом выбранный компонент помещается в буфер обмена, откуда его можно вставить в рабочую область. Буфер обмена – временное место хранения для компонентов или текста, которые пользователь позже хочет поместить в другое место в схеме. Также буфер обмена может использоваться, чтобы передать информацию от EWB к другой прикладной программе. Буфер обмена может содержать графику (компоненты или схемы) и текст. Команда не сработает, если выбор включает в себя инструментальные пиктограммы.

**Copy (Копировать) – Ctrl+C.** Команда предназначена для копирования выбранных компонентов, схемы или текста. Копия помещается в буфер обмена. Затем вы можете использовать команду Paste, чтобы вставить копию в нужном месте. Операция также не выполнится, если выбор включает инструментальные пиктограммы.

**Paste (Вставить) – Ctrl+V.** Команда помещает содержание буфера обмена в активное окно (содержание остаётся в буфере). Для успешного выполнения операции буфер должен содержать компоненты EWB или текст. Содержимое буфера обмена может быть вставлено только в окна, способные содержать

подобную информацию. Например, невозможно вставить компонент электрической схемы в окно описания.

**Delete (Удалить) – Del.** Эта команда полностью удаляет выбранные компоненты или текст. Используйте команду Delete с осторожностью. Удалённая информация не может быть восстановлена.

**Select All (Выбрать все).** Команда выбирает все элементы в активном окне (окно схемы, окно подсхемы или окно описания). Если прибор – часть выбора, команды Copy и Paste становятся недоступными. Для того чтобы выбрать всё, кроме нескольких элементов, используйте команду Select All и затем снимите выделение с лишних элементов, нажимая Ctrl с левой кнопкой мыши.

**Copy as Bitmap (Копировать как растровое изображение).** Команда предназначена для копирования растрового изображения элементов в буфер обмена. Вы можете использовать эти изображения в текстовых процессорах или программах обработки изображений.

Чтобы скопировать растровое изображение элементов, необходимо:

- а) выбрать Copy as Bitmap (курсор изменится на перекрестие);
- б) нажать и удерживать кнопку мыши, перемещая курсор, чтобы сформировать прямоугольник, включающий необходимые для копирования элементы;
- в) отпустить кнопку мыши.

**Show Clipboard (Показать буфер обмена).** Команда отображает содержание буфера обмена. Если активное окно содержит необходимый тип информации или если буфер обмена пуст, команда Paste будет не доступна.

### 3. Меню Circuit (Цепь).

Меню Circuit позволяет осуществить операции работы с цепями.

Rotate	Ctrl+R
Flip Horizontal	
Flip Vertical	
Component Properties...	
<hr/>	
Create Subcircuit...	Ctrl+B
Zoom In	Ctrl++
Zoom Out	Ctrl+-
<hr/>	
Schematic Options...	

**Rotate (Вращать) – Ctrl+R.** Команда позволяет вращать выбранные компоненты на 90° по часовой стрелке. Текст, связанный с компонентом (метки, значения и информация о модели), может быть повторно установлен, но при выполнении команды не вращается.

В случае необходимости провода, приложенные к компоненту, перенаправляются автоматически. При вращении амперметра и вольтметра вращаются только их терминалы.

**Flip Vertical (Отобразить зеркально по вертикали).** Команда зеркально отражает выбранную схему по вертикали в окне схемы. Любые провода,

приложенные к зеркально отражаемому компоненту, перенаправляются по мере необходимости. Текст, связанный с компонентом (метки, значения и информация о модели), может быть повторно установлен, но не отражается.

**Flip Horizontal (Отобразить зеркально по горизонтали).** Команда зеркально отражает выбранную схему по горизонтали в окне схемы. Так же как и в предыдущем пункте, провода, приложенные к зеркально отражаемому компоненту, перенаправляются по мере необходимости, текст может быть лишь повторно установлен.

**Component Properties (Свойства компонентов).** Команда предназначена для изменения свойств выбранного компонента и может выводиться при двойном нажатии на компоненте. При вызове с помощью всплывающего меню, после нажатия правой кнопкой мыши, назначаются заданные по умолчанию свойства для всех выбранных компонентов, впоследствии используемых в этой схеме. Это не воздействует на уже размещённые компоненты.

При выполнении команды открывается диалоговое окно со свойствами выбранного компонента, закладки которого непосредственно зависят от выбора самого компонента.

Возможны следующие типы закладок:

- Label;
- Value;
- Models;
- Schematic Options;
- Fault;
- Node;
- Display;
- Analysis Setup.

• Закладка **Label (Метка)** – **Ctrl+L**. Используется, чтобы установить или заменить метку компонента и идентификатор. Компоненты типа соединителей, заземлений, измерителей не имеют идентификаторов.

Когда компонент вращается или зеркально отображается, метка может быть установлена повторно. Если в результате провод проходит через метку, можно сдвинуть метку направо, добавляя несколько пробелов перед меткой.

Чтобы вставить общую информацию в схему, введите текст в окно описания, доступное из меню Window.

Важно, что идентификаторы назначаются системой уникально, идентифицируя компонент. В случае необходимости их можно изменять, но они должны оставаться уникальными. Идентификаторы не могут быть удалены.

• Закладка **Value (Значение)** – **Ctrl+U**. Поля в этой закладке различаются в зависимости от компонента. В основном здесь задаются номинальные значения компонентов, предельные отклонения и т.п.

• Закладка **Models (Модели)** – **Ctrl+M**. Применяется, чтобы выбрать модель, используемую для компонента и для редактирования, добавления или удаления моделей или библиотек. Компоненты по умолчанию «идеальны», что для большинства схмотехнических моделирований может быть достаточным. Однако

если необходимо увеличить точность результатов теста, то следует использовать «реальную» модель.

- Закладка **Schematic Options (Вариации схемы)**. Используется, чтобы установить цвет провода.

- Закладка **Fault (Неисправность) – Ctrl+F**. Используется, чтобы назначить неисправность на терминал компонента.

Leakage – помещает значение дополнительного сопротивления, определённое в смежных полях, параллельно с выбранными терминалами.

Short – помещает низкое сопротивление между двумя терминалами.

Open – помещает высокое сопротивление между двумя терминалами.

None – не вносит никаких неисправностей.

- Закладка **Node (Узел)**. Используется для изменения свойств узла.

Node ID – назначенное системой имя узла.

Set Node Color – определяет набор цветов для отдельных проводов, связанных с выбранным узлом.

Analysis – определяет, должен ли узел рассматриваться как тестовая точка.

- Закладка **Display (Вывод на экран)**. Используется для отображения/скрытия тех или иных элементов EWB.

Когда выбрано Use Schematic Options, используются настройки параметров дисплея из закладки Show/Hide диалогового окна Circuit/Schematic Options.

Когда выбраны Show labels, Show models, Show reference ID и не выбрано Use Schematic Options, используются параметры дисплея как они были определены.

- Закладка **Setup (Настройки)**. Используется для настройки параметров элементов, таких как рабочая температура.

Use global temperature – набор температур, установленный в Analysis/Analysis Options. Если не выбрано, используются те температуры, которые были определены.

Set initial conditions – устанавливает начальные значения для компонента.

Некоторые компоненты отображают дополнительные параметры на закладке Setup, для использования вместе с параметрами, описанными в техническом справочнике EWB.

- **Create Subcircuit (Создать подсхему) – Ctrl+B**. Команда объединяет выбранные элементы схемы в подсхему.

Чтобы создать подсхему, необходимо:

а) выбрать элементы, которые нужно использовать для подсхемы;

б) выбрать Circuit/Create Subcircuit и завершить диалог, который появляется:

- Copy from Circuit – помещает копию выбранных компонентов в подсхему. Первоначальные компоненты остаются, поскольку они находятся в окне схемы;

- Move from Circuit – удаляет выбранные компоненты из схемы, так что они появляются только в подсхеме;

- Replace in Circuit – помещает выбранные компоненты в подсхему и заменяет выбранные компоненты в схеме прямоугольником, помеченным именем подсхемы.



Выбранные компоненты появляются в новом окне, окне подсхемы. Имя новой подсхемы добавляется к списку доступных подсхем, который отображается, когда пиктограмма подсхемы перемещается из инструментальной панели Favorites. Подсхема доступна только для текущей схемы.

**Zoom (Лупа)** – **Ctrl++** (Увеличение) и **Ctrl--** (Уменьшение). Команда отображает подменю выбора для увеличения или уменьшения размера дисплея окна схемы.

**Schematic Options.** Команда предназначена для управления всем дисплеем схемы. Изменения относятся только к текущей схеме.

В окне команды выводится следующий набор закладок:

- Grid;
- Show/Hide;
- Display;
- Value.

- Закладка **Grid (Сетка)**. Управляет дисплеем и использованием сетки, лежащей в основе окна схемы. Применение сетки упрощает выравнивание элементов в схеме. Можете использовать сетку без её отображения. Отображение сетки осуществляется на заднем плане окна схемы. Сетку удобно использовать при расстановке объектов.

- Закладка **Show/Hide**. Управляет дисплеем информации в окне схемы. Её параметры полезно использовать, когда нужно скрыть объект.

- Закладка **Display**. Управляет шрифтом, используемым для меток и ссылок на идентификаторы.

- Закладка **Value**. Управляет шрифтом, используемым для задания значений компонентов.

#### 4. Меню **Analysis (Анализ)**.

Меню Analysis позволяет выполнить различные анализы. Внешний вид меню приведён на рисунке ниже. Перед выполнением любого анализа пользователю будет предложено заполнить параметры проведения. Анализ будет выполнен только в том случае, когда это возможно для данной схемы.

Activate	Ctrl+G
Pause	F9
Stop	Ctrl+T
Analysis Options...	Ctrl+Y
DC Operating Point	
DC Sweep...	
AC Frequency...	
Transient...	
Fourier...	
Noise...	
Distortion...	
Parameter Sweep...	
Temperature Sweep...	
Pole-Zero...	
Transfer Function...	
Sensitivity...	
Worst Case...	
Monte Carlo...	
Display Graphs	

**Activate (Активировать)** – **CTRL+G**. Команда активизирует схему (включает переключатель питания). Активизация схемы начинает последовательность математических операций, чтобы вычислить значения для тестовых точек в схеме. Переключатель питания остаётся включённым, пока пользователь не остановит или не приостановит моделирование.

**Pause (Пауза)** – **F9**. Команда временно прерывает или продолжает моделирование. Приостановка полезна, если необходимо рассмотреть форму сигнала или сделать изменения в инструментальных настройках.

**Stop (Стоп)** – **CTRL+T**. Команда вручную останавливает моделирование и аналогична переключателю питания. Важно обратить внимание, что выключение питания стирает данные и инструментальные следы, а также сбрасывает все значения к начальным.

**Analysis Options (Параметры анализа)** – **CTRL+Y**. Команда позволяет рассмотреть или изменить любые из параметров компонентов.

В меню Analysis основными пунктами являются методы анализа работы электронных схем, но в данном пособии они не рассматриваются подробно, поэтому пользователь может самостоятельно изучить принципы их работы более подробно.

**DC Operating Point (Анализ по постоянному току)**. Команда выполняет анализ DC Operating Point. При этом считается, что на выходах источников переменного тока, присутствующих в схеме, напряжение равно нулю, и предполагается устойчивое состояние схемы, т.е. конденсаторы имеют бесконечное сопротивление, индуктивности – нулевое. Результаты такого анализа обычно являются промежуточными для дальнейшего анализа схемы.

**AC Frequency (Частотный анализ схемы по переменному току).** Команда выполняет анализ AC Frequency. При этом сначала производится анализ схемы по постоянному току (как в DC Operating Point) для получения линейных, с маленьким сигналом моделей для всех нелинейных компонентов схемы и точки смещения напряжения. Затем создаётся комплексная матрица (содержащая и реальные, и мнимые компоненты схемы). При построении матрицы источникам постоянного тока придаются нулевые значения. Источники переменного тока, конденсаторы и катушки индуктивности представлены их моделями переменного тока. Нелинейные компоненты представлены линейными моделями маленького сигнала переменного тока, полученными по результатам анализа схемы по постоянному току. Все входные источники рассматриваются как синусоидальные. Частота источников игнорируется. Затем производится расчёт ответа схемы по переменному току как функции частоты.

**Transient (Анализ переходного процесса).** Команда выполняет анализ Transient. Программа вычисляет ответ схемы как функцию времени. Каждый входной цикл разделён на интервалы, и анализ схемы по постоянному току выполняется для каждой временной точки цикла. Решение о форме волны напряжения в узле определено значением этого напряжения в каждой временной точке одного полного цикла. В анализе переходного процесса источники постоянного тока имеют постоянные значения; источники переменного тока имеют значения, меняющиеся со временем. Конденсаторы и катушки индуктивности представлены переходными моделями.

**Fourier (Анализ Фурье).** Команда выполняет анализ Fourier. Оценивает постоянную составляющую, основную и гармонические компоненты периодического сигнала. Анализ выполняет дискретное преобразование Фурье этого сигнала. Производится преобразование формы волны периодического напряжения в её частотные компоненты. EWB автоматически выполняет анализ периодического сигнала, чтобы произвести анализ Фурье.

**Monte Carlo (Анализ Монте-Карло).** Команда выполняет анализ Monte Carlo – статистический анализ, который позволяет исследовать, как изменение параметров компонентов схемы воздействует на её эксплуатационные показатели. Выполняются многократные моделирования, и для каждого моделирования параметры компонента случайным образом изменяются согласно типу распределения и допустимым отклонениям параметра, которые устанавливаются в окне диалога. Первое моделирование всегда выполняется с номинальными величинами.

**Display Graph (Графический дисплей).** Команда выводит графические результаты анализа.

## 5. Меню **Window**.

Меню Window позволяет осуществлять работу с окнами.

Arrange	Ctrl+W
1 Circuit	
3 Description	Ctrl+D

**Arrange (Порядок)** – **CTRL+W**. Команда аккуратно расставляет открытые окна.

**Circuit**. Команда переносит окно схемы на передний план.

**Description** – **CTRL+D**. Команда открывает окно описания. Если окно описания уже открыто, переносит его на передний план.

#### 6. Меню **Help**.

Меню Help представляет собой стандартный вызов файла-справки. Вызов справки также можно осуществить нажатием клавиши **F1**.

Через данное меню можно получить информацию как о тех или иных компонентах и их работе, так и о самой программе.

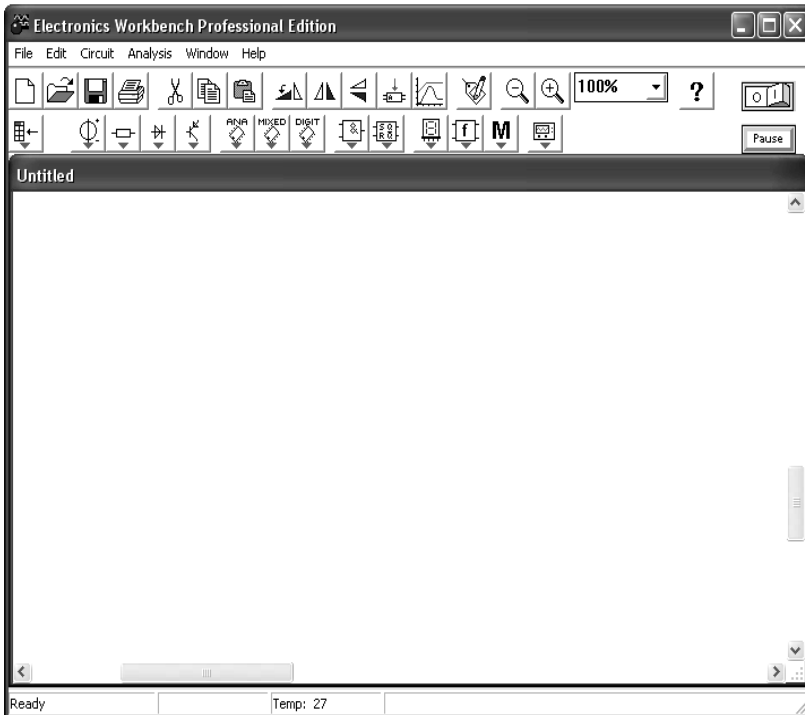
Help	F1
Help Index...	
Release Notes	
<hr/>	
About Electronics Workbench	

## 2. КОМПОНЕНТЫ

Интерфейс EWB подобен реальному рабочему месту разработчика электронных схем. Самая большая центральная область – рабочее пространство (Workspace) – место для сборки и тестирования схем. Над рабочим пространством находятся меню программы и панель компонентов, включающая в себя иконки приборов и переключатель питания.

### Панель компонентов

Итак, для операций с компонентами на общем поле EWB выделены две области: панель компонентов и поле компонентов.



Панель компонентов состоит из пиктограмм полей компонентов, поле компонентов – из условных изображений компонентов.

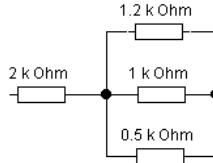
В библиотеки элементов программы EWB входят аналоговые, цифровые и цифро-аналоговые компоненты.

Все компоненты можно условно разбить на следующие группы:

- базовые компоненты;
- источники;
- линейные компоненты;
- ключи;
- нелинейные компоненты;
- индикаторы;
- логические компоненты;
- узлы комбинационного типа;
- узлы последовательного типа;
- гибридные компоненты.

## БАЗОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ

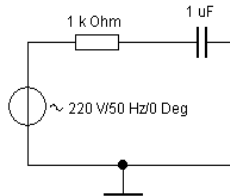
- **Соединяющий узел (Connector).** Применяется для соединения проводников и создания контрольных точек. К каждому узлу может подсоединяться не более четырёх проводников.



**Заземление (Ground).** 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. Применение заземления для электрической цепи переменного тока показано на рисунке.



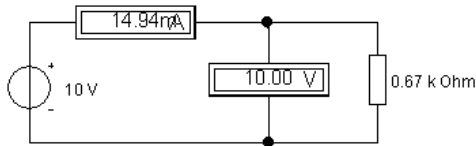
### 3. ИСТОЧНИКИ

Все источники в EWB идеальные.

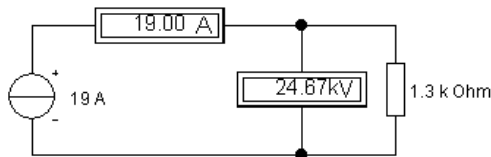
#### НЕУПРАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ



**Источник постоянного напряжения (Battery).** ЭДС источника постоянного напряжения или батареи измеряется в вольтах и задаётся производными величинами (от мкВ до кВ). Батарея в EWB имеет внутреннее сопротивление, равное нулю, поэтому, если необходимо использовать две параллельно подключённые батареи, то следует включить последовательно между ними небольшое сопротивление (например, в 1 Ом).



**Источник постоянного тока (DC Current Source).** Ток источника постоянного тока измеряется в амперах и задаётся производными величинами (от мкА до кА).



**Источник переменного напряжения (AC Voltage Source).** В свойствах данного элемента есть возможность установки действующего значения напряжения, частоты и начальной фазы. Действующее значение напряжения измеряется в вольтах и задаётся производными величинами (от мкВ до кВ).

Действующее значение напряжения  $V_{RMS}$ , вырабатываемое источником переменного синусоидального напряжения, связано с его амплитудным значением  $V_{PEAK}$  следующим соотношением:

$$V_{RMS} = \frac{V_{PEAK}}{\sqrt{2}}.$$



**Источник переменного тока (AC Current Source).** В свойствах указываются действующее значение тока, частоты и начальная фаза. Действующее значение тока источника измеряется в амперах и задаётся производными величинами (от мкА до кА).



**Генератор тактовых импульсов (Clock).** Генератор вырабатывает последовательность прямоугольных импульсов. Отсчёт амплитуды импульсов генератора производится от вывода, противоположного выводу «+».



**Источник напряжения +5 В (+Vcc Voltage Source).** Используя этот источник напряжения, можно устанавливать фиксированный потенциал узла 5 В или уровень логической единицы.



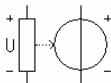
**Источник напряжения +15 В (+Vdd Voltage Source).** Используя этот источник напряжения, можно устанавливать фиксированный потенциал узла 15 В или уровень логической единицы.



**Источник сигнала «логическая единица» (Pull-Up Resistor).** При помощи этого источника устанавливают уровень логической единицы в узле схемы.



## УПРАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ

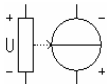


**Источник напряжения, управляемый напряжением (Voltage-Controlled Voltage Source).**

Отношение выходного напряжения к входному определяется коэффициентом пропорциональности  $E$ , который задаётся в мВ/В, В/В и кВ/В:

$$E = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}},$$

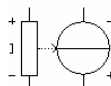
где  $V_{OUT}$  – выходное напряжение источника;  $V_{IN}$  – входное напряжение источника.



**Источник тока, управляемый напряжением (Voltage-Controlled Current Source).** Отношение выходного тока к управляющему напряжению – коэффициент  $G$  – измеряется в единицах проводимости (1/Ом или сименс):

$$G = \frac{I_{OUT}}{V_{IN}},$$

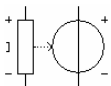
где  $I_{OUT}$  – выходной ток источника;  $V_{IN}$  – напряжение, приложенное к управляющим зажимам источника.



**Источник тока, управляемый током (Current-Controlled Current Source).** Входной и выходной токи связаны коэффициентом пропорциональности  $F$ , который определяет отношение выходного тока к току в управляющей ветви. Коэффициент  $F$  задаётся в мА/А, А/А и кА/А:

$$F = \frac{I_{OUT}}{I_{IN}},$$

где  $I_{OUT}$  – выходной ток источника;  $I_{IN}$  – входной ток источника.



**Источник напряжения, управляемый током (Current-Controlled Voltage Source).** Передаточное сопротивление имеет размерность сопротивления и задаётся в мОм, Ом и кОм:

$$H = \frac{V_{OUT}}{I_{IN}},$$

где  $V_{OUT}$  – выходное напряжение источника;  $I_{IN}$  – входной ток источника.

## 4. ЭЛЕМЕНТЫ

### ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



**Резистор (Resistor).** Сопротивление резистора измеряется в Омах и задаётся производными величинами (от Ом до МОм).



**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.

Используемые клавиши-ключи:

- буквы от *A* до *Z*;
- цифры от 0 до 9;
- клавиша Enter на клавиатуре;
- клавиша «пробел».



**Конденсатор (Capacitor).** Ёмкость конденсатора измеряется в фарадах и задаётся производными величинами (от пФ до Ф).



**Переменный конденсатор (Variable Capacitor).** Величину ёмкости устанавливают, используя её начальное значение и значение коэффициента пропорциональности, следующим образом:

$$C = \frac{\text{начальное значение}}{100} \cdot \text{коэффициент пропорциональности.}$$

Значение ёмкости может устанавливаться с помощью клавиш-ключей.



**Катушка индуктивности (Inductor).** Индуктивность катушки (дресселя) измеряется в генри и задаётся производными величинами (от мкГн до Гн).



**Катушка с переменной индуктивностью (Variable Inductor).** Величину индуктивности этой катушки устанавливают, используя начальное значение её индуктивности и коэффициента пропорциональности, следующим образом:

$$L = \frac{\text{начальное значение}}{100} \cdot \text{коэффициент.}$$

Значение индуктивности может устанавливаться с помощью клавиш-ключей.

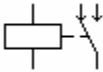


**Трансформатор (Transformer).** Может быть выполнен с отводом средней точки.

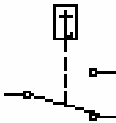
## КЛЮЧИ

Ключи имеют два состояния: выключенное (разомкнутое) и включённое (замкнутое). В выключенном состоянии они представляют собой бесконечно большое сопротивление, во включённом состоянии их сопротивление равно нулю. Ключи могут управляться:

- клавишей;
- таймером;
- напряжением;
- током.



**Реле (Relay).** Электромагнитное реле может иметь нормально замкнутые или нормально разомкнутые контракты.



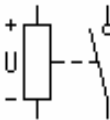
**Ключ, управляемый клавишей (Time-Delay Switch).** Ключи могут быть замкнуты или разомкнуты при помощи управляющих клавиш на клавиатуре. Имя управляющей клавиши можно ввести с клавиатуры в диалоговом окне, появляющемся после двойного щелчка мышью на изображении ключа.

Используемые клавиши-ключи:

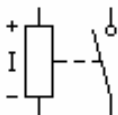
- буквы от *A* до *Z*;
- цифры от 0 до 9;
- клавиша *Enter* на клавиатуре;
- клавиша «пробел».



**Реле времени (Switch).** Реле времени представляет собой ключ, который размыкается в момент времени  $T_{off}$  и замыкается в момент времени  $T_{on}$ . Эти моменты должны быть больше нуля.



**Ключ, управляемый напряжением (Voltage-Controlled Switch).** Ключ, управляемый напряжением, имеет два управляющих параметра: включающее ( $V_{on}$ ) и выключающее ( $V_{off}$ ) напряжения.



**Ключ, управляемый током (Current-Controlled Switch).** Работает аналогично ключу, управляемому напряжением. Когда ток через управляющие выводы превышает ток включения  $I_{on}$ , ключ замыкается; когда ток падает ниже тока выключения  $I_{off}$ , ключ размыкается.

## НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

### Диоды



**Диод (Diode).** Ток через диод может протекать только в одном направлении – от анода А к катоду К.



**Стабилитрон (Zener Diode).** Для стабилитрона (диода Зенера) рабочим является отрицательное напряжение. Обычно этот элемент используют для стабилизации напряжения.



**Светоизлучающий диод, светодиод (LED).** Излучает видимый свет, когда проходящий через него ток превышает пороговую величину.



**Мостовой выпрямитель (Full-Wave Bridge Rectifier).** Предназначен для выпрямления переменного напряжения. При подаче на выпрямитель синусоидального напряжения среднее значение выпрямленного напряжения  $V_{dc}$  можно приблизительно вычислить по формуле

$$V_{dc} = 0,636(V_p - 1,4),$$

где  $V_p$  – амплитуда входного синусоидального напряжения.



**Диод Шоттки (Shockley Diode).** В отличие от простого диода, диод Шоттки находится в отключённом состоянии до тех пор, пока напряжение на нём не превысит фиксированного уровня порогового напряжения.



**Тиристор, управляемый вентиль (Silicon-Controlled Rectifier).** У тиристора помимо анодного и катодного выводов имеется дополнительный вывод управляющего электрода. Он позволяет управлять моментом перехода прибора в проводящее состояние.



**Симистор, двунаправленный управляемый вентиль (Diac).** Симистор способен проводить ток в двух направлениях.



**Динистор (Triac).** Динистор – управляемый анодным напряжением двунаправленный переключатель.

## Биполярные транзисторы

Биполярные транзисторы являются усилительными устройствами, управляемыми током. Они бывают двух типов: р-п-р и п-р-п.

Буквы означают тип проводимости полупроводникового материала, из которого изготовлен транзистор. В транзисторах обоих типов стрелкой отмечается эмиттер, направление стрелки и указывает направление протекания тока.



**п-р-п транзистор (NPN Transistor)** имеет две п-области и одну р-область.



**р-п-р транзистор (PNP Transistor)** имеет две р-области и одну п-область.

## Полевые транзисторы

Полевые транзисторы управляются напряжением на затворе, т.е. ток, протекающий через транзистор, зависит от напряжения на затворе. Полевой транзистор включает в себя протяжённую область полупроводника п-типа или р-типа, называемую каналом. Канал оканчивается двумя электродами, которые называются истоком и стоком. Кроме канала п- или р-типа полевой транзистор включает в себя область с противоположным каналу типом проводимости.

### Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом

Полевой транзистор с управляющим р-п переходом – униполярный транзистор, управляемый напряжением, в котором для управления током используется наведённое электрическое поле, зависящее от напряжения затвора.

В поле компонентов имеется два типа таких транзисторов: п-канальный и р-канальный. В р-канальном полевом транзисторе затвор состоит из п-области, окружённой р-каналом.



**Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом (N Channel JFET).** В п-канальном полевом транзисторе затвор состоит из р-области, окружённой п-каналом.



**Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом (P Channel JFET).** В р-канальном полевом транзисторе затвор состоит из п-области, окружённой р-каналом.

## Полевые транзисторы на основе металлооксидной плёнки

Управление током, протекающим через полевой транзистор на основе металлооксидной плёнки (МОП-транзистор или MOSFET), также осуществляется с помощью электрического поля, прикладываемого к затвору.

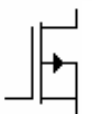
В Electronics Workbench имеется восемь типов МОП-транзисторов:

- четыре типа МОП-транзисторов со встроенным каналом;
- четыре типа МОП-транзисторов с индуцированным каналом.

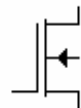
### МОП-транзистор со встроенным каналом



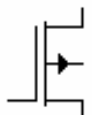
Трёхвыводной n-канальный МОП-транзистор со встроенным каналом (3-Terminal Depletion N-MOSFET).



Трёхвыводной p-канальный МОП-транзистор со встроенным каналом (3-Terminal Depletion P-MOSFET).



Четырёхвыводной n-канальный МОП-транзистор со встроенным каналом (4-Terminal Depletion N-MOSFET).

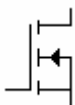


Четырёхвыводной p-канальный МОП-транзистор со встроенным каналом (4-Terminal Depletion P-MOSFET).

## МОП-транзисторы с индуцированным каналом

Эти МОП-транзисторы не имеют физического канала между истоком и стоком, как МОП-транзисторы со встроенным каналом. Вместо этого область проводимости может расширяться на весь слой двуокиси кремния.

МОП-транзистор с индуцированным каналом работает только при положительном напряжении исток-затвор.



Трёхвыводной n-канальный МОП-транзистор с индуцированным каналом (3-Terminal Enhancement N-MOSFET).



Трёхвыводной p-канальный МОП-транзистор с индуцированным каналом (3-Terminal Enhancement P-MOSFET).



Четырёхвыводной n-канальный МОП-транзистор с индуцированным каналом (4-Terminal Enhancement N-MOSFET).

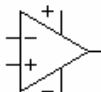


Четырёхвыводной p-канальный МОП-транзистор с индуцированным каналом (4-Terminal Enhancement P-MOSFET).

## Интегральные микросхемы



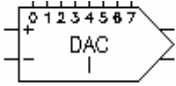
**Операционный усилитель.** Операционный усилитель (ОУ) – усилитель, предназначенный для работы с обратной связью. Модель операционного усилителя позволяет задавать параметры: коэффициент усиления, напряжение смещения, входные токи, входное и выходное сопротивления.



**Операционный усилитель с пятью выводами.** ОУ с пятью выводами имеет два дополнительных вывода (положительный и отрицательный) для подключения питания.

## ЦИФРОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

### Гибридные компоненты ЦАП



#### Цифро-аналоговый преобразователь – ЦАП (Digital-to-Analog Converter).

Осуществляет преобразование цифрового сигнала в аналоговый. Описываемый ЦАП имеет восемь цифровых входов и два входа (I+ и I-) для подачи опорного тока  $I_{оп}$ . ЦАП формирует на выходе ток  $I_{вых}$ , который пропорционален входному числу  $N_{вх}$ .

Выходной ток вычисляется по формуле

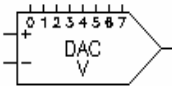
$$I_{вых} = (N_{вх} / 256) I_{оп},$$

где  $I_{оп}$  – опорный ток, определяемый последовательно подключёнными ко входу  $U_{оп+}$  или  $U_{оп-}$  источником напряжения  $U_{оп}$  и сопротивлением  $R$ :

$$I_{оп} = \frac{U_{оп}}{R} \cdot \frac{255}{256}.$$

Второй выход является дополнением первого. Его ток определяется из выражения

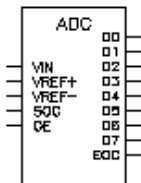
$$I_{вых}' = I_{оп} - I_{вых}.$$



В EWB также имеется ЦАП, который осуществляет преобразование цифрового сигнала в напряжение на выходе. Выходное напряжение определяется по формуле

$$U_{вых} = (N_{вх} / 256) U_{оп},$$

где  $U_{оп}$  – опорное напряжение.

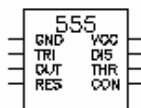


#### Аналого-цифровой преобразователь – АЦП (Analog-to-Digital Converter).

Производит преобразование аналогового напряжения в число. Представленный АЦП переводит аналоговое напряжение  $U_{вх}$  на входе в восьмиразрядное двоичное число  $N_{вых}$  по формуле

$$N_{вых} = (U_{вх} / U_{fs}) 256,$$

где  $U_{fs} = U_{оп+} - U_{оп-}$  – разница напряжений на опорных входах.

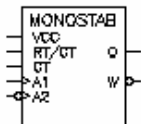


**555 таймер (555 Timer).** Таймер – элемент, имеющий цифровой вход и выход. Он характеризуется временем задержки  $T_d$ . Изменение состояния на его выходе происходит через время, определяемое временем задержки  $T_d$ .

555 таймер – интегральная схема, наиболее часто



употребляемая как мультивибратор, одновибратор или управляемый напряжением генератор. Состояние выхода таймера изменяется через время, определяемое внешней времязадающей RC-цепью. Принципиально 555 таймер состоит из двух компараторов, делителя напряжения, триггера и разряжающего транзистора.




### Одновибратор (Monostable Multivibrator).

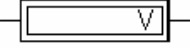
Одновибратор вырабатывает импульс фиксированной длительности в ответ на управляющий перепад на его входе. Длина выходного импульса определяется внешней времязадающей RC-цепью.

## 5. ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

### ПРИБОРЫ БИБЛИОТЕКИ ИНДИКАТОРОВ

Простейшими приборами в EWB являются вольтметр и амперметр, расположенные в поле индикаторов (Indicators), которое на панели компонентов изображается значком . Они не требуют настройки, автоматически изменяя диапазон измерений. В одной схеме можно применять несколько таких приборов одновременно, наблюдая токи в различных ветвях и напряжения на различных элементах.

### Вольтметр

Вольтметр используется для измерения  переменного и постоянного напряжения.

Выделенная толстой линией сторона прямоугольника, изображающего вольтметр, соответствует отрицательной клемме.

Двойным щелчком мыши на изображении вольтметра открывается диалоговое окно для изменения параметров вольтметра: вида измеряемого напряжения, величины внутреннего сопротивления. Величина внутреннего сопротивления вводится с клавиатуры в строке Resistance, вид измеряемого напряжения (опция Mode) выбирается из списка.

При измерении переменного синусоидального напряжения (AC) вольтметр будет показывать действующее значение напряжения  $U_d$ , определяемое по формуле

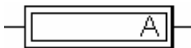
$$U_d = \frac{U_M}{\sqrt{2}},$$

где  $U_M$  – амплитудное значение напряжения.

Внутреннее сопротивление вольтметра 1 МОм, установленное по умолчанию, в большинстве случаев оказывает пренебрежимо малое влияние на работу схемы. Его значение можно изменить, однако использование вольтметра с очень высоким внутренним сопротивлением в схемах с низким выходным импедансом может привести к математической ошибке во время моделирования работы схемы.

В качестве вольтметра можно использовать мультиметр.

## А м п е р м е т р

Амперметр используется для измерения переменного и постоянного тока. Выделенная  толстой линией сторона прямоугольника, изображающего амперметр, соответствует отрицательной клемме.

Двойным щелчком мыши на изображении амперметра открывается диалоговое окно для изменения параметров амперметра: вида измеряемого тока, величины внутреннего сопротивления.

Величина внутреннего сопротивления вводится с клавиатуры в строке Resistance, вид измеряемого тока (опция Mode) выбирается из списка. При измерении переменного синусоидального тока (AC) амперметр будет показывать его действующее значение  $I_d$ :

$$I_d = \frac{I_M}{\sqrt{2}},$$

где  $I_M$  – амплитудное значение тока.

Внутреннее сопротивление 1 мОм, установленное по умолчанию, в большинстве случаев оказывает пренебрежимо малое влияние на работу схемы. Его значение можно изменить, однако использование амперметра с очень маленьким внутренним сопротивлением в схемах с высоким выходным импедансом может привести к математической ошибке во время моделирования работы схемы.

В качестве амперметра можно использовать мультиметр.

Кроме описанных амперметра и вольтметра в EWB имеется семь приборов с многочисленными режимами работы, каждый из которых можно использовать в схеме только один раз. Эти приборы расположены на панели приборов.

Слева на панели расположены приборы для формирования и наблюдения аналоговых величин: мультиметр, функциональный генератор, осциллограф, Бode-плоттер. Справа – приборы для формирования и наблюдения логических величин: генератор слов, логический анализатор, логический преобразователь.

## М у л ь т и м е т р



Мультиметр используется для измерения: напряжения (постоянного и переменного), тока (постоянного и переменного), сопротивления, уровня напряжения в децибелах.



Для настройки мультиметра нужно двойным щелчком мыши на его уменьшенном изображении открыть его увеличенное изображение. На увеличенном изображении нажатием левой кнопки мыши выбирается: измеряемая величина по единицам измерения – A, V,  $\Omega$  или dB; вид

измеряемого сигнала – переменный или постоянный; режим установки параметров мультиметра.

Установка вида измеряемой величины производится нажатием соответствующей кнопки на увеличенном изображении мультиметра. Нажатие кнопки с символом «~» устанавливает мультиметр для измерения действующего значения переменного тока и напряжения, постоянная составляющая сигнала при измерении не учитывается. Для измерения постоянных напряжения и тока нужно на увеличенном изображении мультиметра нажать кнопку с символом «—».

Для того чтобы использовать мультиметр для измерений напряжения, тока, сопротивления или уровня напряжения в децибелах, нужно нажать кнопку на увеличенном изображении мультиметра:  $A$ ,  $V$ ,  $\Omega$  или  $dB$  соответственно.

В качестве амперметра и вольтметра мультиметр используется так же, как и стандартные приборы.

Мультиметр – единственный в EWB стандартный прибор, предназначенный для измерения сопротивления. Для использования мультиметра в качестве омметра подсоедините его параллельно участку цепи, сопротивление которого нужно измерить, на увеличенном изображении мультиметра нажмите кнопку  $\Omega$  и кнопку с символом «—» переключения в режим измерения постоянного тока. Включите схему. На табло мультиметра при этом появится измеренное значение сопротивления.

Чтобы избежать ошибочных показаний, схема должна иметь соединение с землёй и не иметь контакта с источниками питания. Источники питания должны быть исключены из схемы, причём идеальный источник тока должен быть заменён разрывом цепи, а идеальный источник напряжения – короткозамкнутым участком.

Для измерения уровня напряжения в децибелах на увеличенном изображении мультиметра нажмите кнопку  $dB$ . Мультиметр подключается одним из выводов к точке, уровень напряжения в которой нужно измерить, а другим выводом к точке, относительно которой производится измерение. При измерении уровня переменного напряжения измеряется уровень действующего значения. После включения схемы на табло мультиметра появится измеренное значение уровня напряжения.

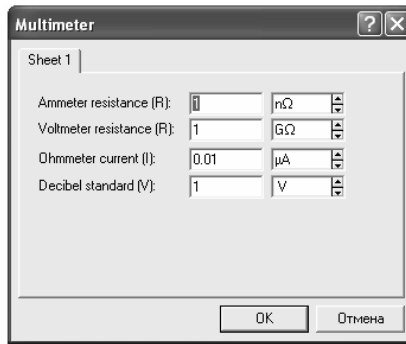
Уровень напряжения в децибелах подсчитывается следующим образом:

$$dB = 20 \lg \frac{|U_{\text{вх}}|}{U_{\text{оп}}},$$

где  $U_{\text{вх}}$  – напряжение, приложенное к выводам мультиметра;  $U_{\text{оп}}$  – опорное напряжение, по отношению к которому измеряется уровень напряжения.

По умолчанию опорное напряжение установлено равным 1 В.

Используйте клавишу **SETTINGS** для настройки: входного сопротивления вольтметра, последовательного сопротивления амперметра, измерительного тока омметра, опорного напряжения для отчёта в децибелах.



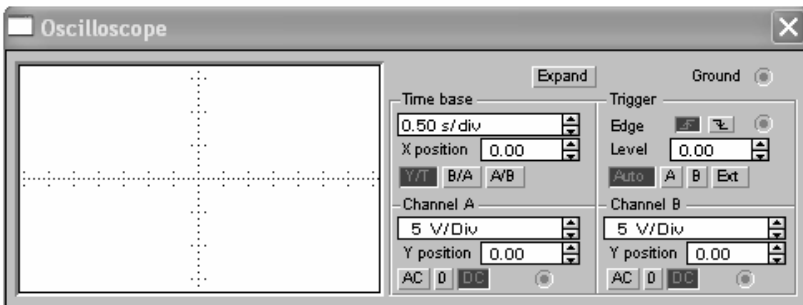
## Осциллограф



Осциллограф, имитируемый программой EWB, представляет собой аналог двухлучевого запоминающего осциллографа и имеет две модификации: простую и расширенную. Расширенная модификация по своим возможностям приближается к лучшим цифровым запоминающим осциллографам. Из-за того, что расширенная модель занимает много места на рабочем поле, рекомендуется начинать исследования простой моделью, а для подробного исследования процессов использовать расширенную модель.

Вы можете подключить осциллограф к уже включённой схеме или во время работы схемы переставить выводы к другим точкам – изображение на экране осциллографа изменится автоматически.

Двойным щелчком мыши по уменьшенному изображению открывается изображение передней панели простой модели осциллографа с кнопками управления, информационными полями и экраном.





Для проведения измерений осциллограф нужно настроить, для чего следует задать:



- 1) расположение осей, по которым откладывается сигнал;
- 2) нужный масштаб развёртки по осям;
- 3) смещение начала координат по осям;
- 4) режим работы по входу: закрытый или открытый;
- 5) режим синхронизации: внутренний или внешний.

Настройка осциллографа производится при помощи полей управления, расположенных на панели управления.

Панель управления имеет общий для обеих модификаций осциллографа вид и разделена на четыре поля управления:

- поле управления горизонтальной развёрткой (Time base);
- поле управления синхронизацией (Trigger);
- поле управления каналом *A*;
- поле управления каналом *B*.

Поле управления горизонтальной развёрткой (масштабом времени) служит для задания масштаба горизонтальной оси осциллографа при наблюдении напряжения на входах каналов *A* и *B* в зависимости от времени. Временной масштаб задаётся в: с/дел, мс/дел, мкс/дел, нс/дел (*s/div*, *ms/div*, *μs/div*, *ns/div* соответственно). Величина одного деления может быть установлена от 0,1 нс до 1 с. Масштаб может дискретно уменьшаться на один шаг при щелчке мышью на кнопке  справа от поля и увеличиваться при щелчке на кнопке .

С помощью кнопок  и , расположенных в поле строки *X POS*, можно дискретно сдвигать начало осциллограммы по горизонтальной оси. В этом же поле расположены три кнопки: *Y/T*, *A/B*, *B/A*, позволяющие задавать вид зависимости отображаемых сигналов. При нажатии на кнопку *Y/T* по вертикальной оси откладывается напряжение, по горизонтальной оси – время, при нажатии на кнопку *A/B* по вертикальной оси откладывается амплитуда напряжения на входе канала *A*, по горизонтальной оси – канала *B* и при нажатии на кнопку *B/A* наоборот. При этом масштаб осей определяется установками соответствующих каналов. В режимах *A/B* и *B/A* можно наблюдать частотные и фазовые сдвиги (фигуры Лиссажу), петли гистерезиса, вольтамперные характеристики и т.д.

**Управление каналами *A* и *B*.** Две нижние части панели осциллографа являются полями управления отображением сигналов, поданных на входы каналов *A* и *B* соответственно.

Верхнее окно в поле позволяет управлять масштабом оси отображаемого напряжения по вертикальной или горизонтальной оси. Цена деления может дискретно устанавливаться от 10 *mv/div* до 5 *Kv/div*. Масштаб для каждой оси устанавливается отдельно. Чтобы получить удобное для работы изображение на экране осциллографа перед началом эксперимента, установите масштаб, соответствующий ожидаемому напряжению.

Ниже расположено поле, которое позволяет дискретно сдвигать ось *X* вверх или вниз. Для того чтобы развести изображения от каналов *A* и *B*, воспользуйтесь сдвигом по оси *Y* (*Y POS*) для одного или двух каналов.

Три нижние кнопки реализуют различные режимы работы входа осциллографа по входу. Режим работы осциллографа с закрытым входом устанавливается нажатием на кнопку *AC*. В этом режиме на вход не пропускается постоянная составляющая сигнала. При нажатии на кнопку *DC* осциллограф переходит в режим с открытым входом.

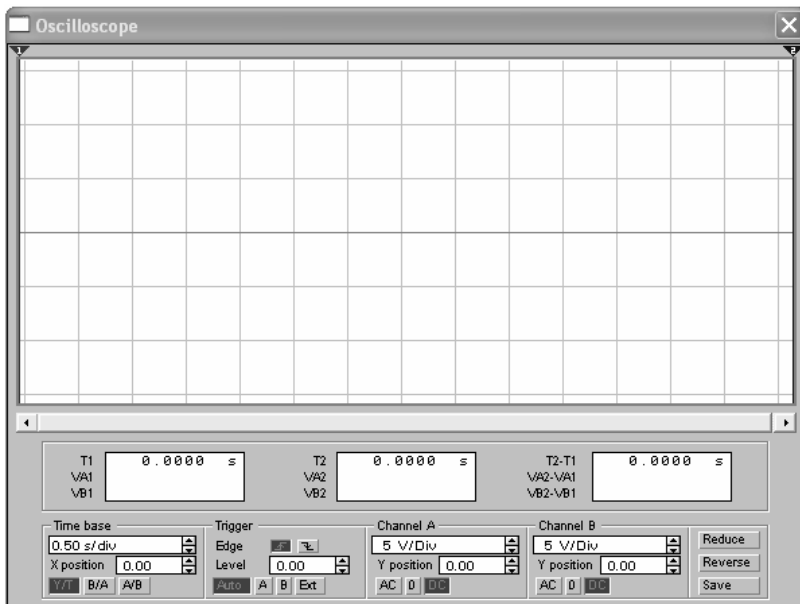
В этом режиме на вход осциллографа пропускается как постоянная, так и переменная составляющая сигнала. При нажатии на кнопку 0 вход осциллографа соединяется с общим выводом осциллографа, что позволяет определить положение нулевой отметки по оси Y.

Верхнее правое поле управления TRIGGER определяет момент начала отображения осциллограммы на экране осциллографа. Кнопки в строке EDGE задают момент запуска осциллограммы по фронту или по срезу импульса на входе синхронизации. Поле LEVEL позволяет задавать уровень, при превышении которого происходит запуск осциллограммы. Значение уровня можно сдвинуть на три деления вниз или вверх.

Осциллограф имеет четыре режима синхронизации: автоматический режим (AUTO) – запуск осциллограммы производится автоматически при подключении осциллографа к схеме или при её включении. Когда «луч» доходит до конца экрана, осциллограмма снова прописывается с начала экрана (новый экран); режимы запуска по входу «А» или «В», в которых запускающим сигналом является сигнал, поступающий на соответствующий вход; режим «Внешний запуск» (EXT – external). В этом случае сигналом запуска является сигнал, подаваемый на вход синхронизации.

Нажатие клавиши Expand на панели простой модели открывает окно расширенной модели осциллографа.

Панель расширенной модели осциллографа в отличие от простой модели расположена под экраном и дополнена тремя информационными табло, на которые выводятся результаты измерений. Кроме того, непосредственно под экраном находится линейка прокрутки, позволяющая наблюдать любой временной отрезок процесса от момента включения



до момента выключения схемы. В сущности, расширенная модель осциллографа – это совершенно другой прибор, позволяющий намного удобнее и более точно проводить численный анализ процессов.

На экране осциллографа расположены два курсора, обозначаемые 1 и 2, при помощи которых можно измерить мгновенные значения напряжений в любой точке осциллограммы. Для этого просто перетащите мышью курсоры за треугольники в их верхней части в требуемое положение. Координаты точек пересечения первого курсора с осциллограммами отображаются на левом табло, координаты второго курсора – на среднем табло. На правом табло отображаются значения разностей между соответствующими координатами первого и второго курсоров. Результаты измерений, полученные при помощи расширенной модели осциллографа, можно записать в файл. Для этого нажмите кнопку Save (Сохранить) и в диалоговом окне введите имя файла.

Чтобы вернуться к прежнему изображению осциллографа, нажмите клавишу REDUCE, расположенную в правом нижнем углу.

### Бодe-плоттер (Графопостроитель)

Бодe-плоттер используется для получения: амплитудно-частотных (АЧХ) и фазочастотных (ФЧХ) характеристик схемы.

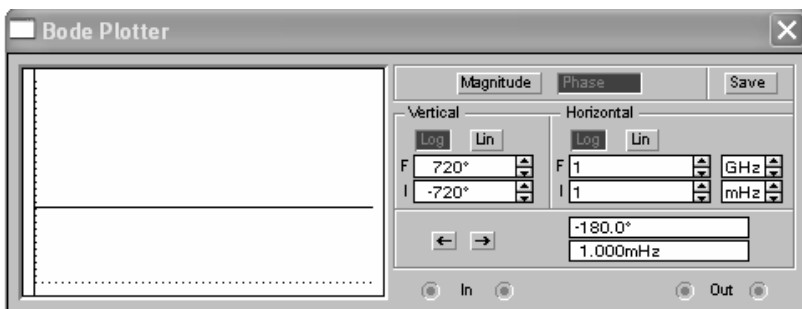


Бодe-плоттер измеряет отношение амплитуд сигналов в двух точках схемы и фазовый сдвиг между ними. Отношение амплитуд сигналов может измеряться в децибелах. Для измерения Бодe-плоттер генерирует собственный спектр частот, диапазон которого может задаваться при настройке прибора. Частота любого переменного источника в исследуемой схеме игнорируется, однако схема должна включать какой-либо источник переменного тока

Бодe-плоттер имеет четыре зажима: два входных (*IN*) и два выходных (*OUT*).

Для измерения отношения амплитуд или фазового сдвига нужно подключить положительные выводы входов *IN* и *OUT* (левые выводы соответствующих входов) к исследуемым точкам, а два других вывода заземлить.

При двойном щелчке мышью по уменьшенному изображению Бодe-плоттера открывается его увеличенное изображение.



Верхняя панель плоттера задаёт вид получаемой характеристики: АЧХ или ФЧХ. Для получения АЧХ нажмите кнопку Magnitude, для получения ФЧХ – кнопку Phase.

Левая панель управления (Vertical) задаёт:

а) начальное (I – initial) и конечное (F – final) значения параметров, откладываемых по вертикальной оси;

б) вид шкалы вертикальной оси – логарифмическая (LOG) или линейная (LIN). Правая панель управления (HORIZONTAL) настраивается аналогично.

При получении АЧХ по вертикальной оси откладывается отношение напряжений:

в) в линейном масштабе от 0 до  $10E9$ ;


г) в логарифмическом масштабе от  $-200\text{ dB}$  до  $200\text{ dB}$ .

При получении ФЧХ по вертикальной оси откладываются градусы от  $-720$  до  $720$ . По горизонтальной оси всегда откладывается частота в герцах или в производных единицах.

В начале горизонтальной шкалы расположен курсор. Его можно перемещать нажатием на кнопки со стрелками, расположенными справа от экрана, либо «тащить» с помощью мыши. Координаты точки пересечения курсора с графиком характеристики выводятся на информационных полях внизу справа.

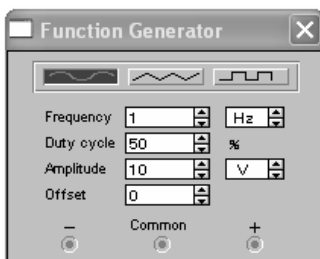
С помощью Боде-плоттера нетрудно построить топографическую диаграмму на комплексной плоскости для любой схемы.

## Функциональный генератор

Генератор является идеальным источником напряжения, вырабатывающим сигналы синусоидальной, прямоугольной или треугольной формы. 

Средний вывод генератора при подключении к схеме обеспечивает общую точку для отсчёта амплитуды переменного напряжения. Для отсчёта напряжения относительно нуля общий вывод заземляют. Крайние правый и левый выводы служат для подачи переменного напряжения на схему. Напряжение на правом выводе изменяется в положительном направлении относительно общего вывода, напряжение на левом выводе – в отрицательном. При двойном щелчке мышью по уменьшенному изображению функционального генератора открывается его увеличенное изображение.

1. Установка формы сигнала.





Выберите требуемую форму выходного сигнала и нажмите на кнопку с соответствующим изображением. Форму треугольного и прямоугольного сигналов можно изменить, уменьшая или увеличивая значение в поле DUTY CYCLE (скважность). Этот параметр определяется для сигналов треугольной и прямоугольной формы. Для треугольной формы напряжения он задаёт длительность (в процентах от периода сигнала) между интервалом нарастания напряжения и интервалом спада. Установив, например, значение 20, мы получим длительность интервала нарастания 20% от периода, а длительность интервала спада – 80%. Для прямоугольной формы напряжения этот параметр задаёт соотношение между длительностями положительной и отрицательной части периода.

## 2. Установка частоты сигнала.

Частота генератора может регулироваться от 1 Hz до 999 MHz. Значение частоты устанавливается в строке FREQUENCY с помощью клавиатуры и кнопок со стрелками. В левом поле устанавливается численное значение, в правом – единица измерения (Hz, kHz, MHz – Гц, кГц, МГц соответственно).

## 3. Установка амплитуды выходного напряжения.

Амплитуда выходного напряжения может регулироваться от 0 мВ до 999 кВ. Значение амплитуды устанавливается в строке AMPLITUDE с помощью клавиатуры и кнопок со стрелками. В левом поле устанавливается численное значение, в правом – единица измерения (mV, V, kV – мВ, В, кВ соответственно).

## 4. Установка постоянной составляющей выходного напряжения.

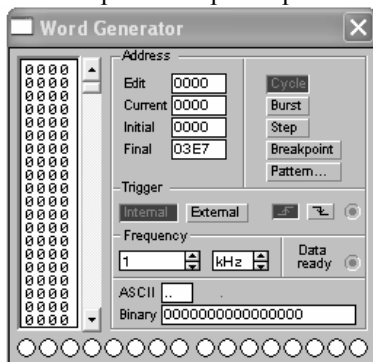
Постоянная составляющая переменного сигнала устанавливается в строке OFFSET при помощи клавиатуры или кнопок со стрелками. Она может иметь как положительное, так и отрицательное значение. Это позволяет получить, например, последовательность однополярных импульсов.

## Генератор слов



Генератор слов используется для задания цифровых последовательностей. На схему выводится уменьшенное изображение генератора слов. На шестнадцать выходов в нижней части генератора параллельно подаются биты генерируемого слова. На выход тактового сигнала подаётся последовательность тактовых импульсов с заданной частотой. Вход синхронизации используется для подачи синхронизирующего сигнала от внешнего источника.

Двойным щелчком мыши открывается расширенное изображение.



Левая часть генератора содержит 1023 слова. Выделением отмечается слово, активное в данный момент. Значения этого слова отражаются в шестнадцатеричной системе (левое окно), или в двоичной системе (окно Binary), или в международной системе кодов (окно ASCII).

Ввод слов производится в левой или нижней (окно Binary или ASCII ) части окна генератора при помощи мыши и клавиатуры. Нажатием на левую клавишу мыши выделяется нужный бит, а ввод значения производится с клавиатуры.

Для дальнейшего использования установленного набора слов (шаблона) необходимо его сохранить. Для этого нажмите кнопку Patten... на панели генератора слов и в появившемся окне выберите SAVE и введите имя файла. Шаблон сохраняется в виде файла с расширением \*.dp. Если необходимо снова использовать данный шаблон, то следует нажать кнопку LOAD и в диалоговом окне дважды щёлкнуть левой кнопкой мыши на имени нужного файла с шаблоном. Очистить (заполнить нулями) левую часть окна генератора можно нажатием на кнопку CLEAR BUFFER.

Генератор может работать в трёх режимах:

- 1) пошаговый (каждый раз после подачи очередного слова на выход генератор останавливается);
- 2) циклический (на выход генератора однократно последовательно поступают все слова);
- 3) непрерывный (все слова циклически передаются на выход генератора в течение необходимого времени).

Нажатием на кнопку STEP генератор переводится в пошаговый режим, кнопка BURST переводит в циклический режим, а кнопка CYCLE – в непрерывный.

Для того чтобы прервать работу в непрерывном режиме, необходимо ещё раз нажать кнопку CYCLE (или CTRL+T на клавиатуре)

Панель управления TRIGGER определяет момент начала работы генератора. Момент запуска может быть задан по положительному или отрицательному фронтам синхронизирующего импульса.

В режиме EXTERNAL (Внешняя синхронизация) передача слов на выход генератора синхронизируется с помощью импульсов, подаваемых на вход запуска. С приходом каждого импульса на выход генератора выдаётся одно слово.

В режиме INTERNAL (Внутренняя синхронизация) генератор производит внутреннюю синхронизацию передачи слов на выход.

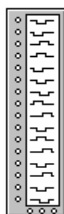
Для синхронизации работы схемы с генератором можно установить частоту импульсов в пределах от Гц до МГц, можно в окне FREQUENSY.

### Логический анализатор

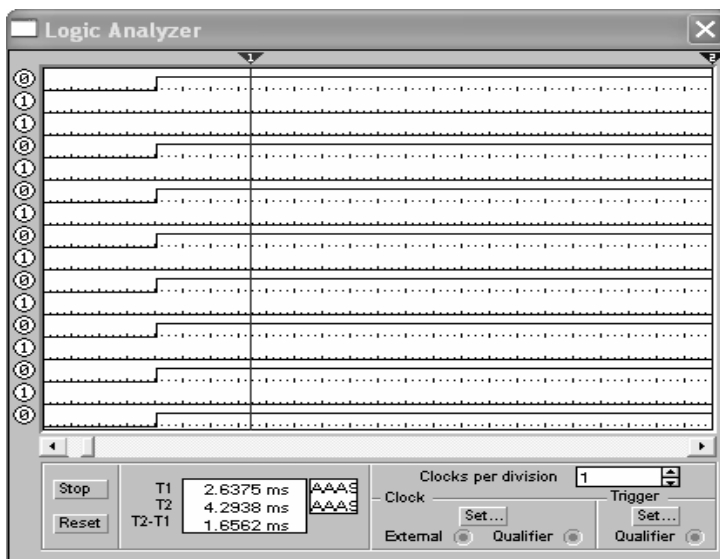
На схему выводится уменьшенное изображение логического анализатора.

Логический анализатор подключается к исследуемой схеме с помощью выводов в его левой части. Одновременно могут наблюдаться сигналы в шестнадцати точках схемы. Правый нижний зажим используется для подачи синхронизирующих импульсов.

Двойным щелчком мыши по уменьшенному изображению открывается



расширенное изображение логического анализатора.



Временные диаграммы сигналов на экране 16-канального логического анализатора изображаются в виде прямоугольных импульсов. Кроме того, круглые окна в левой части анализатора показывают текущее состояние входов анализатора. Каждое окно соответствует одному из его входов.

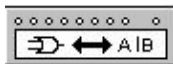
Уровни сигналов, в текущий момент подающихся на вход анализатора, на экране отображаются справа. Правый крайний вход анализатора соответствует средней временной диаграмме на экране анализатора.

Нажатие на клавишу CLEAR очищает экран логического анализатора.

В поле TIME BASE устанавливается временной масштаб по горизонтальной оси.

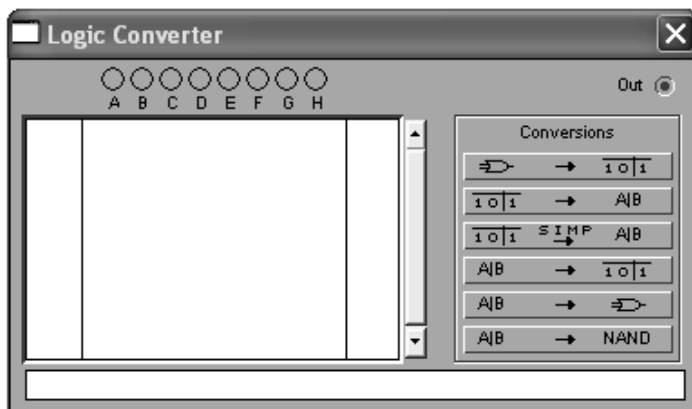
### Логический преобразователь

Логический преобразователь – прибор, который не имеет аналогов в реальном мире. Он предназначен для выполнения различных функциональных преобразований в схеме. С его помощью можно осуществлять следующие операции:



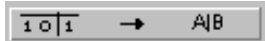
- получение таблицы истинности исследуемой схемы;
- преобразование таблицы истинности в логическое выражение;
- преобразование логического выражения в таблицу истинности;
- создание логических схем по заданному логическому выражению;

д) синтез логических схем на элементах И – НЕ по заданному логическому выражению. На экран выводится уменьшенное изображение логического преобразователя.



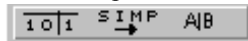
**Получение таблицы истинности схемы.** Для

получения таблицы истинности схемы необходимо подключить входы (А, В, С, D, E, F, G, H) логического преобразователя ко входам исследуемой схемы (не более восьми), выход (OUT) логического преобразователя соединить с выходом схемы. После нажатия кнопки в левой части экрана логического преобразователя появится таблица истинности, описывающая функционирование исследуемой схемы

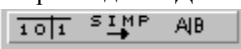


**Ввод и преобразования таблицы истинности.** Для

того чтобы создать таблицу истинности, необходимо в левой верхней части прибора выбрать число переменных от А до Н (нажать на соответствующую букву левой кнопкой мыши). Вся левая половина экрана заполнится комбинациями нулей и единиц, которые определяют начальные входные условия. Немного правее расположен столбец выходных значений OUT (реакция на вход), заполненный первоначально нулями. Изменяя в правой колонке нули на единицы или X (безразличное состояние), можно описать состояние выхода для любого начального условия. После щелчка на кнопке в нижней строке изображения прибора появится логическое выражение.



**Упрощение выражения Булевой алгебры.** Если

таблица истинности содержит большое число переменных, то логическое выражение функции получается громоздким. Для его преобразования в компактную форму следует нажать кнопку .




**Ввод и преобразования логического выражения.** Для


получения таблицы истинности функции, заданной логическим выражением, проделайте следующее:


а) в строку преобразователя введите при помощи клавиатуры логическое выражение;

б) нажмите кнопку .

При вводе выражений инверсия обозначается апострофом ' , логическое сложение – знаком +. Логическое умножение не обозначается.

 **Синтез схемы по логическому выражению.** При помощи логического преобразователя можно получить схему, реализующую функцию, заданную логическим выражением. Для этого в нижней строке преобразователя введите логическое выражение и нажмите кнопку

.

После нажатия этой кнопки на рабочем поле EWB появится эквивалентная логическому выражению схема. Все элементы в схеме будут выделены красным цветом. Если требуется использовать для построения схемы только элементы И – НЕ, то необходимо воспользоваться кнопкой .

## 6. МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ

EWB позволяет строить аналоговые, цифровые и цифро-аналоговые схемы различной степени сложности.

Исследуемая схема собирается на рабочем поле при одновременном использовании мыши и клавиатуры. Применение в работе только клавиатуры невозможно. При построении и редактировании схем выполняются следующие операции:

- а) выбор компонента из библиотеки компонентов;
- б) выделение объекта;
- в) перемещение объекта;
- г) копирование объектов;
- д) удаление объектов;
- е) соединение компонентов схемы проводниками;
- ж) установка значений компонентов;
- з) подключение приборов.


Если схема не помещается на экране монитора, любой её участок можно просмотреть при помощи линеек прокрутки, расположенных справа и под рабочим полем.


После построения схемы и подключения приборов анализ её работы начинается после нажатия выключателя в правом верхнем углу окна программы.






Сделать паузу при работе схемы можно нажатием кнопки Pause под выключателем. Возобновить процесс можно повторным нажатием кнопки Pause. Повторное нажатие выключателя в правом верхнем углу прекращает работу схемы.

Выбор нужного компонента производится из поля компонентов, нужное поле компонентов выбирается нажатием левой кнопки мыши на одной из пиктограмм панели компонентов. При этом в поле компонентов появляются изображения соответствующих компонентов. После выбора поля компонентов нужный компонент при помощи мыши перемещается на рабочее поле.

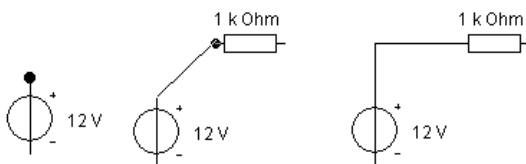
Выделение объекта осуществляется при помощи мыши (под объектом подразумевается как один компонент, так и группа компонентов). При выборе компонента нужно установить указатель мыши на нужный компонент (при этом изображение указателя изменится на ) и щёлкнуть левой кнопкой мыши. Для выбора группы компонентов нужно установить указатель мыши в один из углов прямоугольной области, содержащей группу, и, нажав левую кнопку мыши, растянуть рамку до необходимых размеров, после чего отпустить кнопку. Выбранный объект изменяет свой цвет на красный. Снять выделение можно щелчком мыши в любой точке рабочего поля.

Объект можно поворачивать на угол, кратный  $90^\circ$ . Для этого объект нужно предварительно выделить, а затем выбрать команду Rotate из меню Circuit, нажать  $\text{Ctrl} + R$  или на рабочей панели нажать кнопку . При этом объект повернётся на  $90^\circ$  по часовой стрелке. При повороте группы компонентов на  $90^\circ$  поворачивается каждый компонент, а не вся группа целиком.

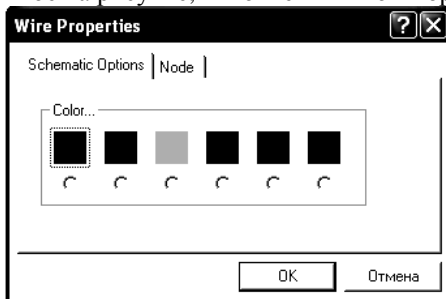
Копирование объектов осуществляется при помощи команды Copy из меню Edit, нажатием  $\text{Ctrl} + C$  или на рабочей панели нажать кнопку . Перед копированием объект нужно выделить. После выполнения команды выделенный объект копируется в буфер. Для вставки содержимого буфера на рабочее поле нужно выбрать команду Paste из меню Edit, нажать  $\text{Ctrl} + V$  или на рабочей панели нажать кнопку . После выполнения команды содержимое буфера появится на рабочем поле и будет выделено цветом.

Удаление объекта осуществляется командами Cut (на рабочей панели кнопка ) и Delete. Отличие состоит в том, что при выполнении команды Cut объект удаляется в буфер и может быть затем вставлен обратно на рабочее поле, а при выполнении команды Delete объект удаляется совсем. Перед удалением объект также должен быть выделен.

Для соединения компонентов проводниками нужно подвести указатель мыши к выводу компонента. При этом на выводе компонента появится большая чёрная точка (см. рисунок). Нажав левую кнопку мыши, переместите её указатель к выводу компонента, с которым нужно соединиться, и отпустите кнопку мыши. Выводы компонентов соединятся проводником.

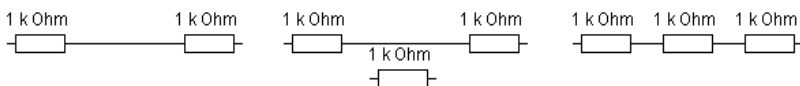



Все проводники в EWB по умолчанию чёрного цвета, но цвет проводника можно изменить. Для этого нужно двойным щелчком на изображении проводника открыть окно, приведённое на рисунке, и в окне мышью выбрать требуемый цвет.



Если в схеме компоненты размещены неаккуратно, то может потребоваться спрямить проводники, соединяющие компоненты. Это можно сделать, переместив компоненты так, чтобы проводники отображались прямыми линиями.

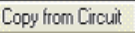



После того, как схема построена, можно вставить в неё дополнительные компоненты. Для этого нужно мышью переместить компонент в требуемую точку схемы и, поместив его над проводником, отпустить кнопку мыши. Компонент автоматически вставится в цепь, как показано на рисунке.

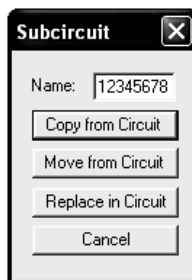


**Создание субблоков.** EWB позволяет объединять участки схемы в субблоки (подсхемы). Для этого необходимо выделить участок схемы, который нужно объединить в субблок. После выделения нужно выбрать пункт Create Subcircuit... меню Circuit или на рабочей панели нажать кнопку . На экране появится диалоговое окно, приведённое на рисунке.

В строке Name нужно ввести имя субблока, нажать одну из четырёх кнопок:

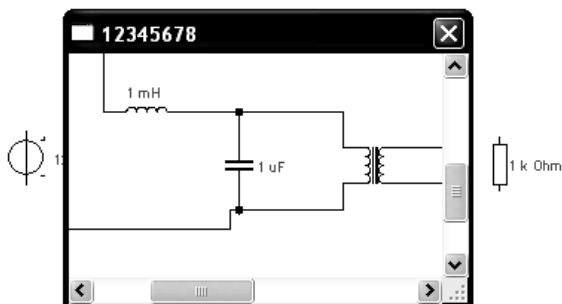
- скопировать из схемы (Copy from circuit);
- выделить из схемы (Move from circuit);
- заменить в схеме (Replace in circuit);
- отмена (Cancel).

При нажатии кнопки «Скопировать из схемы»  схема остаётся без изменений, а в поле  появляется субблок с присвоенным ему именем. При нажатии кнопки «Выделить из схемы»  выделенный участок схемы на рабочем поле вырезается из схемы и помещается в окно с именем, присвоенным субблоку, как показано на рисунке. В поле  появляется изображение субблока с присвоенным ему именем.

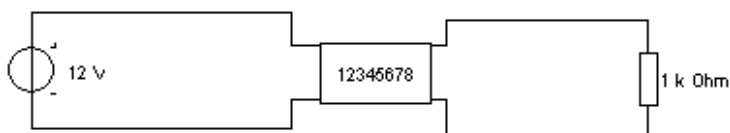


затем

поле субблок с



При нажатии на кнопку «Заменить в схеме» ( **Replace in Circuit** ) выделенный участок схемы заменяется субблоком, как показано ниже. При этом так же, как и в предыдущем случае, открывается окно с именем, присвоенным субблоку, а в поле компонентов Favorites появляется субблок с этим именем.



## САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА В EWB

Для закрепления навыков, полученных при выполнении лабораторных работ по курсу «Общая электротехника и электроника», предлагается в рамках самостоятельной работы собрать электрические цепи, приведённые в ПРИЛОЖЕНИИ.

Перед тем как приступить к выполнению самостоятельной работы, необходимо:

- ознакомиться с графиком выполнения лабораторных работ;
- ознакомиться с программой EWB;
- изучить правила сборки схем и подключения измерительных приборов, приведённых в данном учебном пособии.

При выполнении самостоятельной работы в EWB необходимо:

- иметь при себе отчёт о выполнении соответствующей лабораторной работы на лабораторном стенде;
- перед сборкой схемы ознакомиться с элементами электрической цепи, используемыми в работе;
- сравнить результаты измерений с результатами, полученными в ходе реального эксперимента.

Отчёт по самостоятельной работе представляется в печатном и электронном видах. При составлении отчёта следует:

- указать тему задания, кратко сформулировать цель и задачи;



- внести в отчёт печатный вариант схем (или экранные копии), выполненных в EWB, при этом показания приборов должны быть чётко видны;
- в соответствии с поставленными задачами сформулировать выводы по результатам работы;
- приложить к отчёту файлы с расширением .ewb, выполненные в программе EWB, на оптическом носителе.

Для закрепления изученного материала по окончании каждой самостоятельной работы предлагается ответить на контрольные вопросы.

## Задание 1

### **ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ, НАПРЯЖЕНИЙ И СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРИБОРАМИ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ОТСЧЁТА В ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

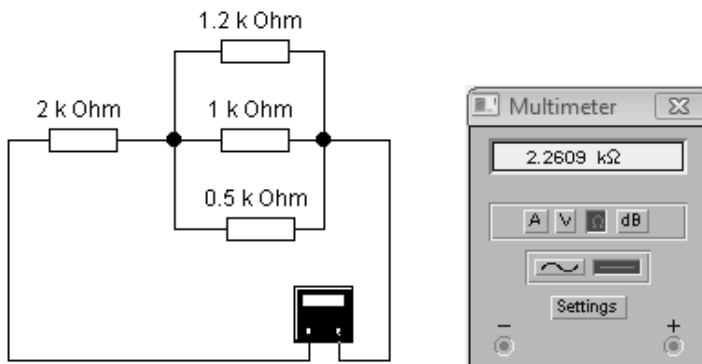
*Цель.* Получить навыки компьютерного моделирования электрических цепей постоянного тока.

*Задачи.*

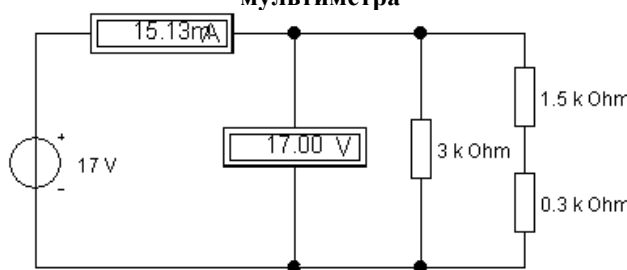
1. Смоделировать заданные электрические цепи.
2. Для каждого элемента цепи задать значения, полученные при выполнении работы на лабораторном стенде.
3. Произвести измерения сопротивлений, напряжений и токов в цепях.

#### **Порядок выполнения**

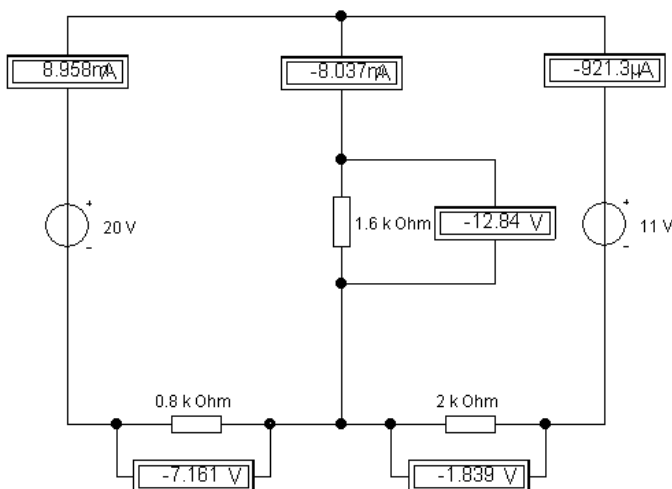
1. Собрать электрическую цепь, показанную на рис. 1. При помощи мультиметра замерить эквивалентное сопротивление.
2. Собрать схему, показанную на рис. 2. Пользуясь мультиметром, определить сопротивление нагрузки.
3. Собрать схему, показанную на рис. 3. Проверить первый закон Кирхгофа, для чего измерить токи в ветвях цепи и падения напряжений на резисторах.
4. Собрать схему, показанную на рис. 4. Проверить второй закон Кирхгофа, для чего измерить напряжения на элементах цепи и величину тока, протекающего в цепи.
5. Результаты измерений п. 1 – 4 сравнить с результатами, полученными ранее, при выполнении работы на лабораторном стенде.



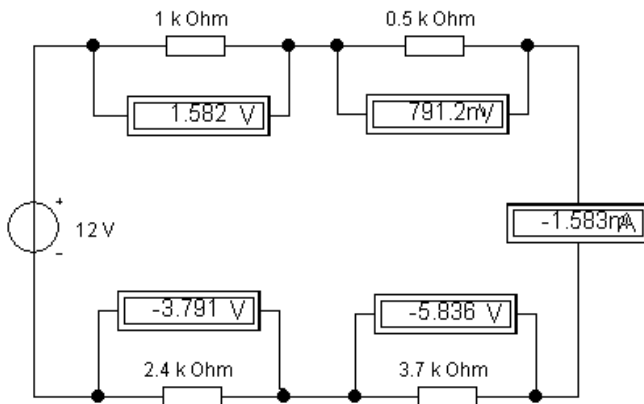
**Рис 1. Измерение эквивалентного сопротивления при помощи мультиметра**



**Рис. 2. Определение сопротивления нагрузки**



**Рис. 3. Проверка первого закона Кирхгофа**



**Рис. 4. Проверка второго закона Кирхгофа**  
**Контрольные вопросы**

1. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа.
2. Сформулируйте закон Ома для цепи, содержащей источник ЭДС.
3. Поясните метод эквивалентного преобразования электрической цепи.
4. Покажите, каким образом осуществляются измерения виртуальным амперметром и вольтметром в цепи постоянного тока.
5. Покажите, каким образом осуществляются измерения виртуальным мультиметром.
6. Покажите, каким образом задаются параметры виртуального источника ЭДС.

Задание 2

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

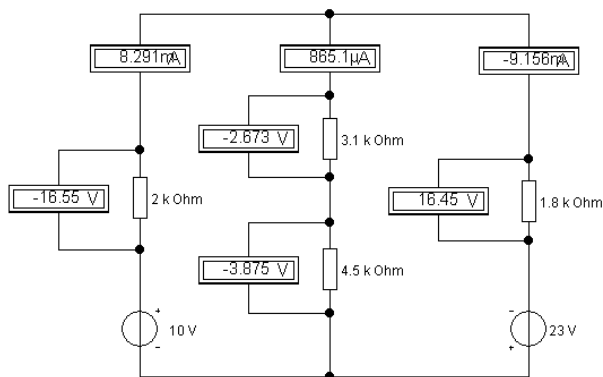
*Цель.* Получить навыки компьютерного моделирования сложной электрической цепи постоянного тока.

*Задачи.*

1. Смоделировать заданную электрическую цепь.
2. Для каждого элемента цепи задать значения, полученные при выполнении работы на лабораторном стенде.
3. Измерить токи в ветвях цепи, падение напряжения на элементах цепи.

### Порядок выполнения

1. Собрать электрическую цепь, показанную на рис. 5. Измерить падение напряжения на резисторах и токи в ветвях.



**Рис. 5. Измерение напряжений и токов в сложной электрической цепи**

2. Показание вольтметров и амперметров сравнить с результатами, полученными ранее, при выполнении работы на лабораторном стенде.

### Контрольные вопросы

1. Сформулируйте сущность метода наложения.
2. Сформулируйте сущность метода непосредственного применения законов Кирхгофа.
3. Сформулируйте сущность метода контурных токов.
4. Сформулируйте сущность метода эквивалентного активного двухполосника.
5. Покажите, каким образом осуществляются измерения виртуальным амперметром и вольтметром в цепи постоянного тока.
6. Покажите, каким образом осуществляются измерения виртуальным мультиметром.

Задание 3

## НЕРАЗВЕТВЛЁННАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА С АКТИВНО-РЕАКТИВНЫМИ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСА НАПРЯЖЕНИЙ

*Цель.* Получить навыки компьютерного моделирования цепи синусоидального тока с активно-реактивными сопротивлениями. Ознакомиться с работой виртуального прибора Боде-плоттер.

*Задачи.*

1. Смоделировать заданную электрическую цепь.
2. Для каждого элемента цепи задать значения, полученные при выполнении работы на лабораторном стенде.
3. Определить резонансную частоту цепи.

4. Вывести резонансную кривую цепи при помощи Боде-плоттера.

### Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь, показанную на рис. 6. Измерить падения напряжений на каждом элементе, а также ток в цепи.

2. Изменяя частоту генератора, определить резонансную частоту цепи и вывести на экран Боде-плоттера резонансную кривую (рис. 7 и рис. 8).

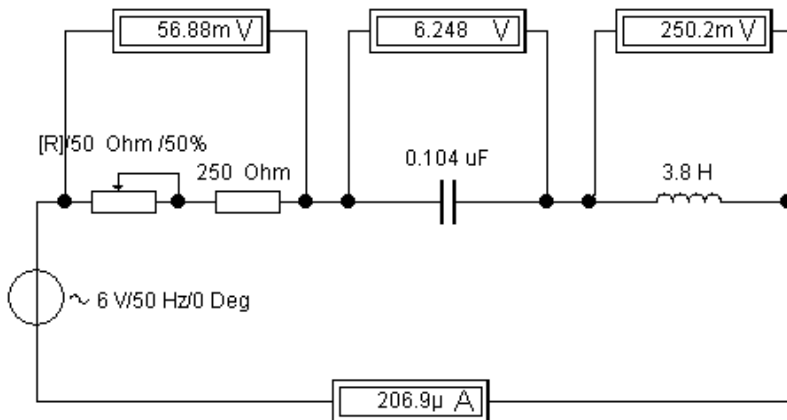


Рис. 6. Незвзветвлённая электрическая цепь

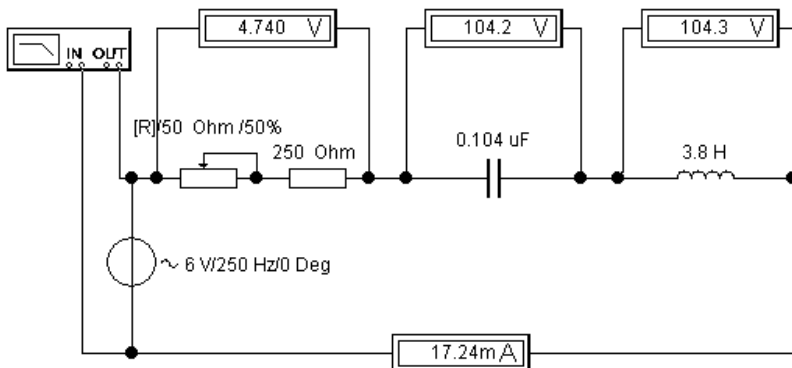
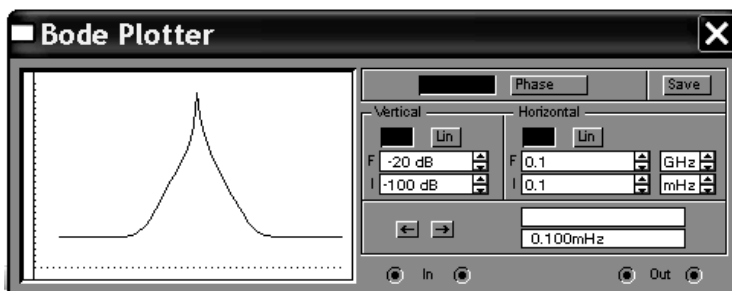


Рис. 7. Явление резонанса напряжений в последовательной RLC-цепи



**Рис. 8. Резонансная кривая, выводимая Бode-плоттером**

3. Результаты моделирования сравнить с результатами, полученными ранее, при выполнении работы на лабораторном стенде.

### **Контрольные вопросы**

1. Опишите электрические процессы, происходящие в цепи переменного тока с идеализированным резистивным элементом.
2. Опишите электрические процессы, происходящие в цепи переменного тока с идеализированным ёмкостным элементом.
3. Что представляет собой резонанс напряжений и какие условия необходимы для его возникновения?
4. Сформулируйте понятие добротности контура.
5. Покажите, каким образом осуществляются измерения виртуальным амперметром и вольтметром в цепи переменного тока.
6. Покажите, каким образом осуществляются измерения виртуальным прибором Бode-плоттер

Задание 4

## **РАЗВЕТВЛЁННАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА С АКТИВНО-РЕАКТИВНЫМИ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСА ТОКОВ**

*Цель.* Получить навыки компьютерного моделирования разветвлённой цепи синусоидального тока с активно-реактивными сопротивлениями.

*Задачи.*

1. Смоделировать заданные электрические цепи.
2. Для каждого элемента цепи задать значения, полученные при выполнении работы на лабораторном стенде.
3. Определить резонансные частоты для каждой цепи по показаниям приборов.
4. Вывести резонансные кривые цепи при помощи Бode-плоттера.

## Порядок выполнения работы

1. Собрать электрические цепи, показанные на рис. 9. Измерить падения напряжений на цепочке, состоящей из реостата и резистора.

2. Изменяя частоту сигнала и сравнивая значения токов в обоих ветвях цепи, определить резонансную частоту. Вывести на экран Бode-плоттера резонансную кривую (рис. 10 и рис. 11).

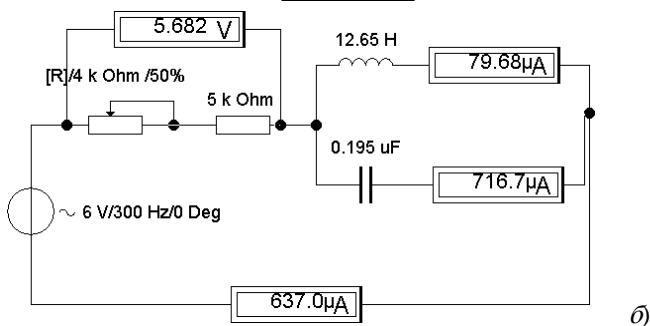
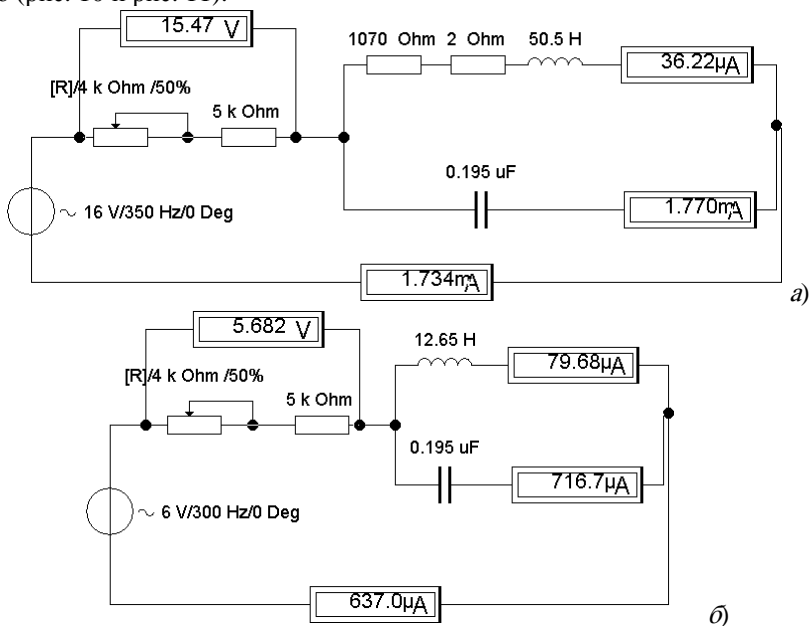
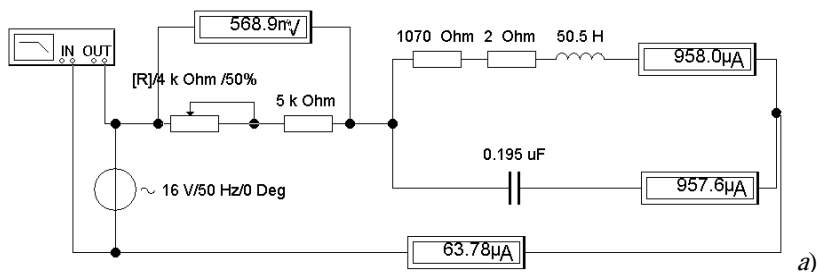


Рис. 9. Разветвлённая электрическая цепь



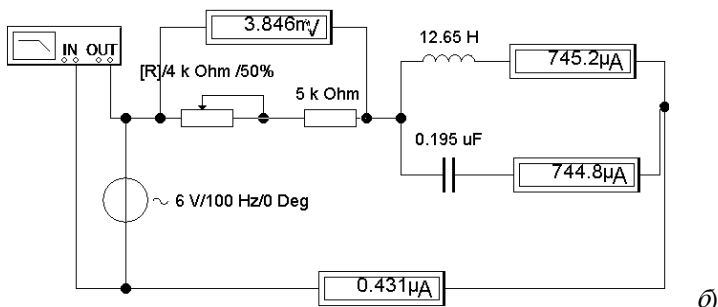


Рис. 10. Разветвлённая электрическая цепь с подключённым Боде-плоттером

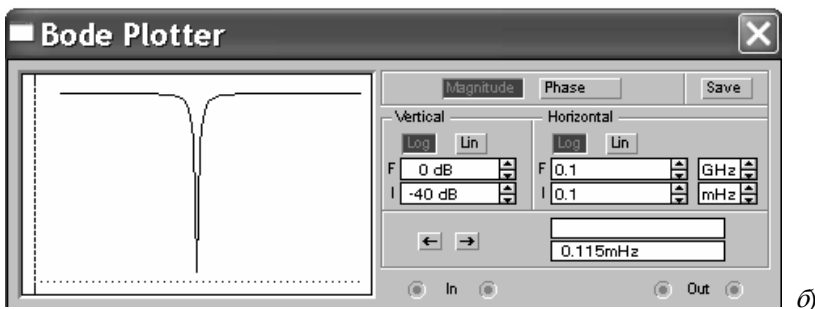
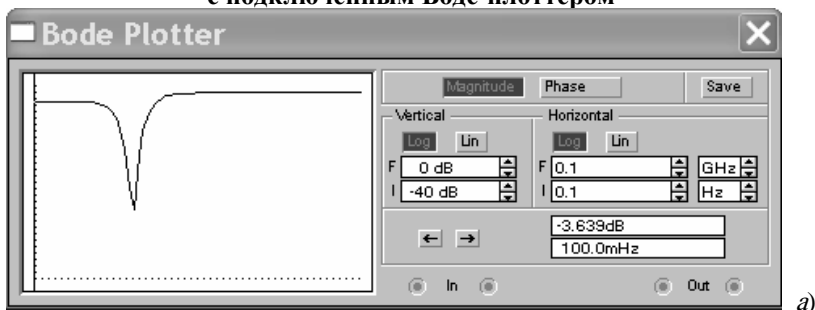


Рис. 11. Использование Боде-плоттера для определения резонансной частоты

- Полученные результаты сравнить с результатами реального эксперимента.

### Контрольные вопросы

- Сформулируйте понятие активной, реактивной и полной мощности электрической цепи.
- Сформулируйте на примере понятие эквивалентной комплексной проводимости цепи, содержащей  $R$ -,  $L$ - и  $C$ -элементы.
- Что представляет собой резонанс токов и какие условия необходимы для его возникновения?



4. Опишите в сравнении, какие энергетические процессы происходят в цепи при резонансе токов и резонансе напряжений.

5. Дайте определение коэффициента мощности и назовите основные факторы, оказывающие влияние на его величину.

6. Покажите, каким образом осуществляются измерения виртуальным прибором Боде-плоттер.

## Задание 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С АКТИВНО-РЕАКТИВНЫМИ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ

*Цель.* Получить навыки компьютерного моделирования сложной электрической цепи переменного тока.

*Задачи.*

1. Смоделировать заданную электрическую цепь.
2. Для каждого элемента цепи задать значения, полученные при выполнении работы на лабораторном стенде.
3. Измерить токи в ветвях и падения напряжений на элементах цепи.

#### Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь, показанную на рис. 12. Измерить падение напряжений на каждом элементе цепи и токи в ветвях.

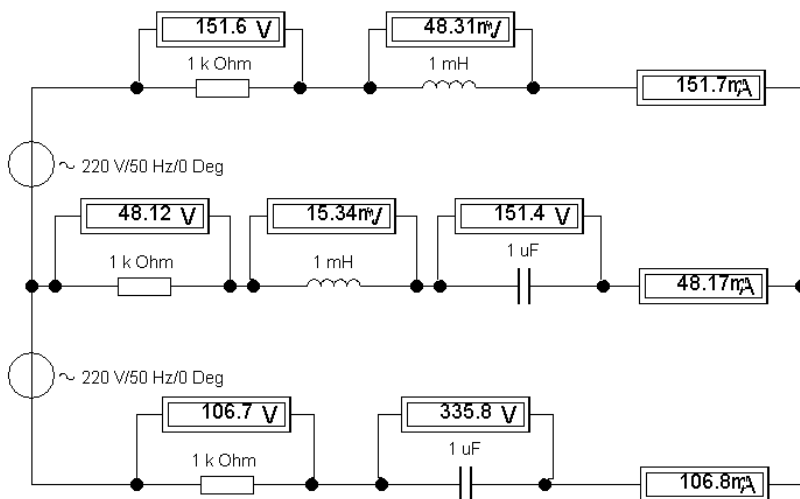


Рис. 12. Сложная электрическая цепь переменного тока

2. Показания приборов сравнить с результатами, полученными в ходе реального эксперимента.

### **Контрольные вопросы**

1. Поясните, в чём заключаются особенности расчёта сложных электрических цепей переменного тока.

2. Применимы ли методы анализа и расчёта электрических цепей постоянного тока к электрическим цепям переменного тока?

3. Каким образом рассчитываются падения напряжений на активных и реактивных элементах электрической цепи переменного тока?

4. Дайте определение линейного четырёхполюсника и опишите его работу системой линейных уравнений.

5. Опишите основные параметры, характеризующие симметричный четырёхполюсник.

6. Покажите, каким образом осуществляются измерения виртуальным амперметром и вольтметром в цепи переменного тока.

Задание 6

### **ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ**

*Цель.* Получить навыки компьютерного моделирования переходных процессов в линейных электрических цепях при наличии одного или двух накопителей энергии. Получить навыки применения виртуального осциллографа для исследования и измерения быстропротекающих периодических несинусоидальных электрических величин.

*Задачи.*

1. Смоделировать заданные электрические цепи переменного тока.

2. Для каждого элемента цепи задать значения, полученные при выполнении работы на лабораторном стенде.

3. Получить осциллограммы переходных процессов.

### **Порядок выполнения работы**

1. Собрать электрическую цепь, показанную на рис. 13.

2. Исследовать сигнал, поступающий от генератора прямоугольных импульсов. Для этого перевести переключатель 1 в положение, показанное на рис. 13. Установить максимальное значение переменного резистора R1. Подключить осциллограф к клеммам X1 и X5. Определить период и частоту исследуемого сигнала.

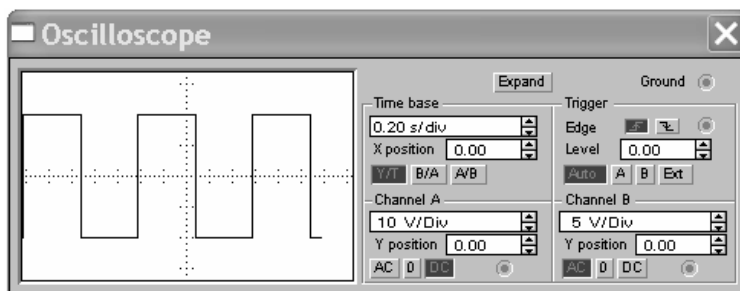
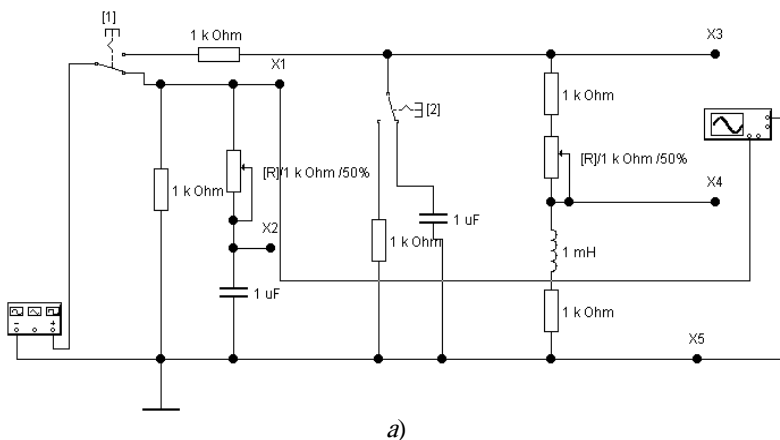
3. Исследовать переходный процесс в RC-цепи. Изменяя сопротивление R1, получить осциллограмму переходного процесса, схожую с рис. 14, б. Для этого установить переключатели 1 и 2 в положение, показанное на рис. 14, и подключить

осциллограф к клеммам X2 и X5. Определить период, частоту исследуемого сигнала и продолжительность переходного процесса.

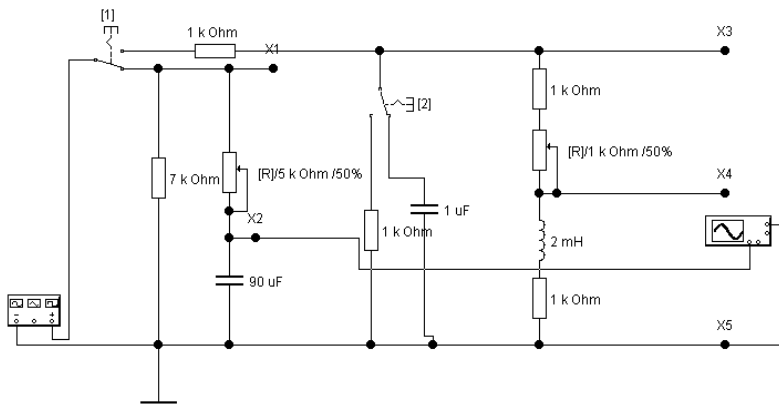
4. Исследовать переходный процесс в RL-цепи. Изменяя сопротивление R2, получить осциллограмму переходного процесса, схожую с рис. 14, б. Для этого установить переключатели 1 и 2 в положения, показанные на рис. 15, и подключить осциллограф к клеммам X3 и X5. Определить период, частоту исследуемого сигнала и продолжительность переходного процесса.

5. Исследовать переходный процесс в электрической цепи с двумя накопителями энергии – конденсатором и катушкой индуктивности. Изменяя сопротивление R2, получить осциллограмму переходного процесса, схожую с рис. 14, б. Для этого установить переключатели 1 и 2 в положения, показанные на рис. 16, и подключить осциллограф к клеммам X4 и X5. Определить период и частоту исследуемого сигнала и продолжительность переходного процесса.

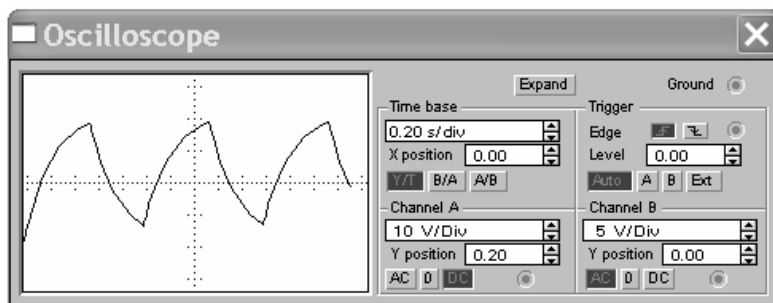
6. Результаты моделирования сравнить с результатами, полученными ранее, при выполнении работы на лабораторном стенде.



**Рис. 13. Исследование сигнала с выхода генератора прямоугольных импульсов**

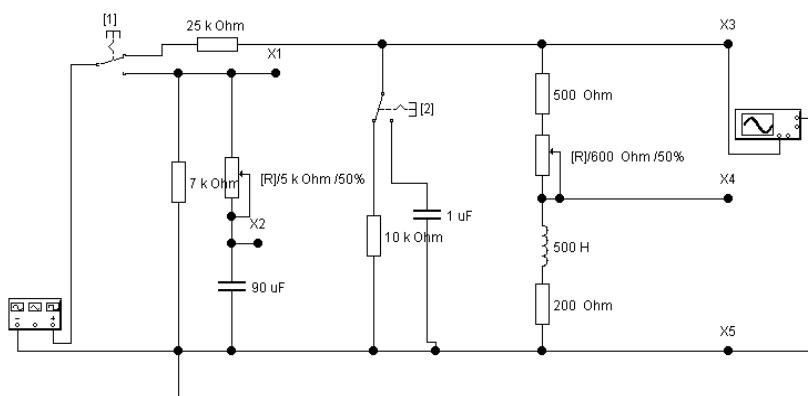


a)



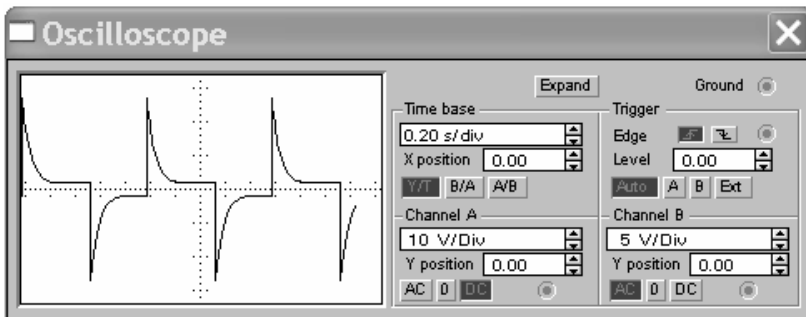
б)

**Рис. 14. Переходный процесс в RC-цепи**



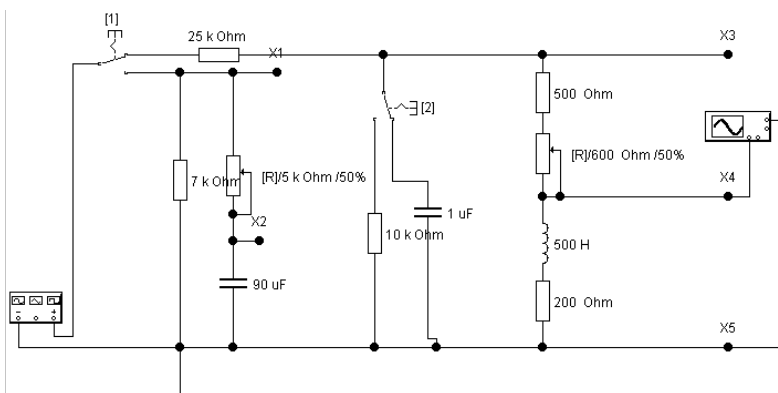
a)

**Рис. 15. Переходный процесс в RL-цепи**



б)

Рис. 15. Продолжение



а)



б)

Рис. 16. Переходный процесс в цепи с двумя накопителями энергии  
Контрольные вопросы

1. Дайте определение установившегося и переходного процессов в электрической цепи.
2. Дайте определение постоянной времени электрической цепи.
3. Напишите выражение для переходного напряжения на конденсаторе при включении R-C-цепи под постоянное напряжение.
4. Напишите выражение для переходного тока при включении электрической R-L-цепи под постоянное напряжение.
5. Дайте определение законов коммутации.
6. Покажите, каким образом осуществляются измерения виртуальным осциллографом.

Задание 7

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

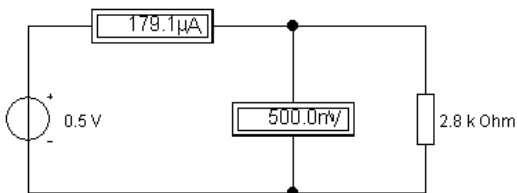
*Цель.* Получить навыки компьютерного моделирования схем с нелинейными и линейными элементами.

*Задачи.*

1. Смоделировать заданные электрические цепи с линейным и нелинейным элементами.
2. Для каждого элемента цепи задать значения, полученные при выполнении работы на лабораторном стенде.
3. Снять вольт-амперные характеристики (ВАХ) линейного и нелинейного элемента цепи постоянного тока.
4. Построить графические зависимости и определить рабочую точку нелинейного элемента.

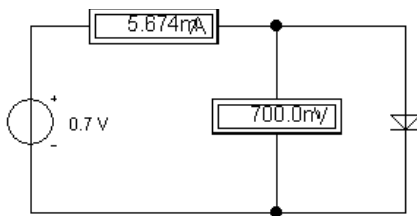
### Порядок выполнения работы

1. Для снятия ВАХ линейного элемента смоделировать схему, представленную на рис. 17, при разных значениях питающего напряжения от 0 до 0,7 В.



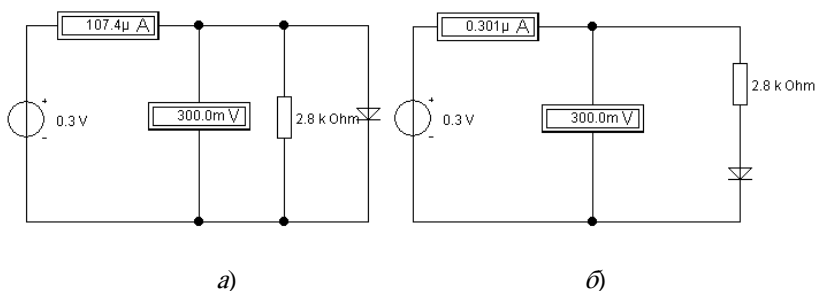
**Рис. 17. Пример схемы измерения ВАХ линейного элемента**

2. Для снятия ВАХ нелинейного элемента смоделировать схему, представленную на рис. 18, при разных значениях питающего напряжения от 0 до 0,7 В.



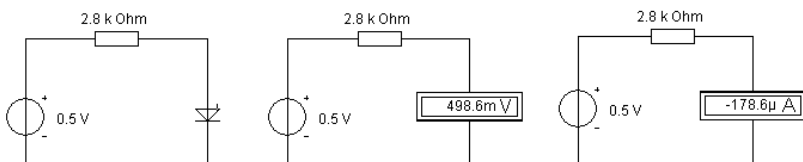
**Рис. 18. Пример схемы измерения ВАХ нелинейного элемента**

3. Аналогично предыдущим двум пунктам снять ВАХ параллельной и последовательной цепей линейного и нелинейного элементов, представленных на рис. 19, *а* и *б* соответственно.



**Рис. 19. Пример схем измерения ВАХ параллельной и последовательной цепей**

4. Определить напряжение холостого хода и ток короткого замыкания в схеме с линейным и нелинейным элементами (рис. 20).



**Рис. 20. Пример определения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания**

5. Построить полученные ВАХ и рабочую точку нелинейного элемента, используя средства программы Microsoft Excel или другое программное обеспечение.

## Контрольные вопросы

1. Дайте определение линейной и нелинейной электрических цепей.
2. Сформулируйте метод эквивалентных преобразований для анализа и расчёта нелинейной электрической цепи.
3. Сформулируйте метод пересечения характеристик для анализа и расчёта нелинейной электрической цепи.
4. Поясните особенности инерционных и безынерционных нелинейных элементов.
5. Объясните, каким образом будет определяться результирующая ВАХ электрической цепи, состоящей из двух параллельно и одного последовательно включённых нелинейных элементов.
6. Покажите, каким образом осуществляется снятие ВАХ с использованием виртуальных измерительных приборов.

Задание 8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЁХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

*Цель.* Получить навыки компьютерного моделирования трёхфазных электрических цепей.

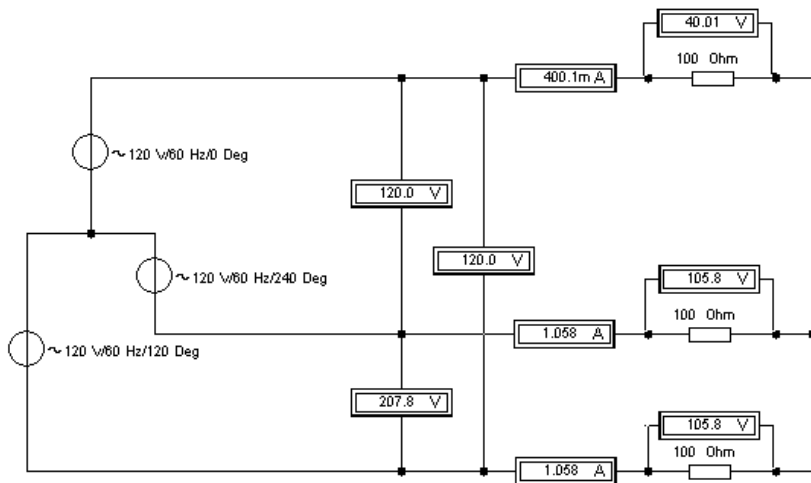
*Задачи.*

1. Смоделировать заданные электрические цепи.
2. Исследовать трёхпроводную и четырёхпроводную трёхфазные цепи при соединении приёмников электрической энергии по схеме «звезда». Установить соотношения между линейными и фазными токами и напряжениями при симметричной и несимметричной нагрузках.
3. Исследовать трёхфазную цепь при соединении приёмников по схеме «треугольник». Установить соотношения между линейными и фазными токами и напряжениями при симметричной и несимметричной нагрузках.

### Порядок выполнения работы

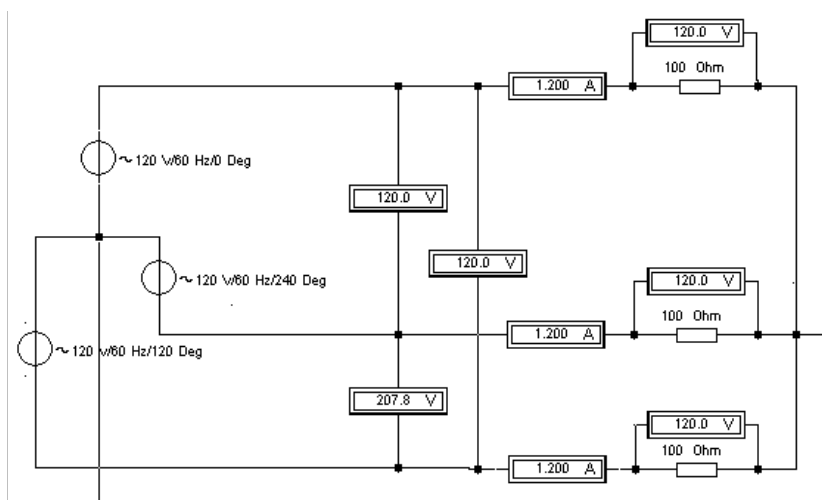
1. Смоделировать работу трёхпроводной трёхфазной электрической цепи при подключении симметричного приёмника по схеме «звезда». Пример такого подключения приведён на рис. 21. Аналогичная схема включения используется и для несимметричного приёмника.





**Рис. 21. Трёхпроводная схема соединения потребителей по схеме «звезда» с симметричной нагрузкой**

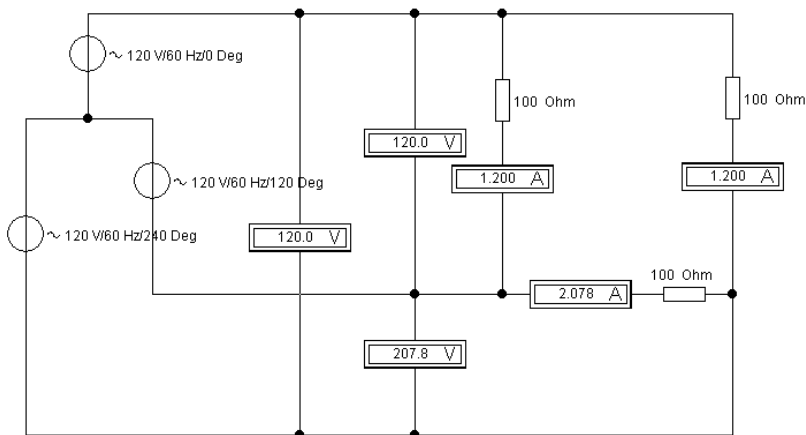
2. Смоделировать работу четырёхпроводной трёхфазной электрической цепи при подключении симметричного приёмника по схеме «звезда». Пример такого подключения приведён на рис. 22. Аналогичная схема включения используется и для несимметричного приёмника.



**Рис. 22. Четырёхпроводная схема соединения потребителей по схеме «звезда» с симметричной нагрузкой**

3. Смоделировать работу трёхфазной электрической цепи при подключении симметричного приёмника по схеме «треугольник». Пример такого подключения

приведён на рис. 23. Аналогичная схема включения используется и для несимметричного приёмника.



**Рис. 23. Трёхпроводная схема соединения потребителей по схеме «треугольник» с симметричной нагрузкой**

4. Сравнить результаты с полученными ранее, в ходе реального эксперимента.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определения трёхфазной системы синусоидальных токов.
2. Покажите способы соединения потребителей в трёхфазной системе.
3. Объясните назначение нейтрального провода и поясните, почему в этот провод не включаются разъединители и предохранители.
4. Каково соотношение между фазными и линейными напряжениями и токами при соединении потребителей электроэнергии звездой и треугольником.
5. Покажите, каким образом осуществляются измерения токов и напряжений виртуальными измерительными приборами в трёхфазной электрической цепи.
6. Покажите, каким образом осуществляется измерение мощности виртуальными измерительными приборами в трёхфазной электрической цепи.

Задание 9

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

*Цель.* Получить навыки компьютерного моделирования цепей с однофазным трансформатором.

*Задачи.*

1. Смоделировать заданные электрические цепи.
2. Для каждого элемента цепи задать значения, полученные при выполнении работы на лабораторном стенде.

3. Провести опыт холостого хода, опыт короткого замыкания и опыт нагрузки для исследуемого трансформатора.

### Порядок выполнения

1. Задать основные параметры трансформатора, выбрав показанную на схеме модель трансформатора.

2. Провести опыт холостого хода, измерить ток холостого хода в первичной обмотке, напряжения холостого хода на первичной и вторичной обмотках трансформатора (рис. 24).

3. Провести опыт короткого замыкания. Изменяя значения переменного резистора, измерить напряжение короткого замыкания (рис. 25).

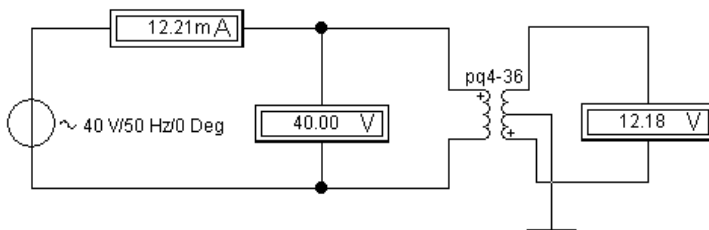


Рис. 24. Опыт холостого хода

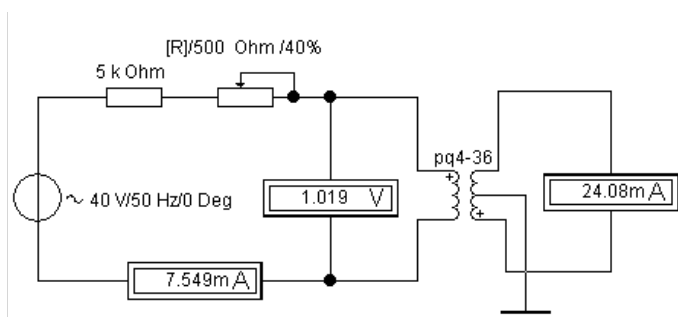
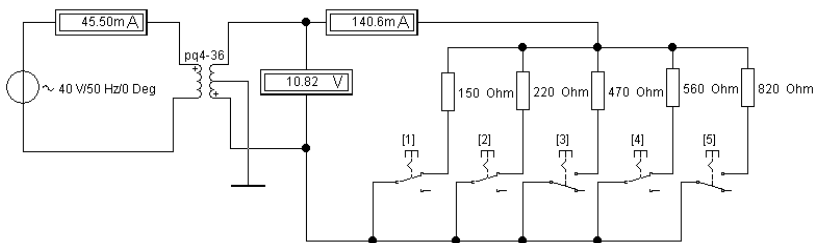


Рис. 25. Опыт короткого замыкания

4. Провести опыт нагрузки однофазного трансформатора. Переключая ключи 1, 2, 3, 4 и 5, измерить ток первичной обмотки трансформатора, ток и напряжение нагрузки в цепи нагрузки (рис. 26).



**Рис. 26. Опыт нагрузки**

5. Сравнить результаты с полученными ранее, в ходе реального эксперимента.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие параметры трансформатора определяются в опыте холостого хода?
2. Какие параметры трансформатора определяются в опыте короткого замыкания?
3. В каких случаях применяется параллельная работа трансформаторов и какие условия при этом должны быть соблюдены?
4. Каким образом ток нагрузки влияет на напряжение вторичной обмотки трансформатора?
5. Покажите, каким образом осуществляются измерения токов и напряжений виртуальными измерительными приборами в опыте холостого хода.
6. Покажите, каким образом осуществляются измерения токов и напряжений виртуальными измерительными приборами в опыте короткого замыкания.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Система схемотехнического моделирования Electronics Workbench представляет собой удобное и практичное средство, позволяющее моделировать электрические схемы и анализировать их работу. Результаты моделирования можно вывести на принтер или импортировать в текстовый или графический редактор для их дальнейшей обработки, что даёт возможность значительно повысить качественный уровень проведения лабораторных и практических занятий. Программа Electronics Workbench совместима с программой P-SPICE, т.е. предоставляет возможность экспорта и импорта схем и результатов измерений в различные её версии.

В приложении приведены варианты схем для самостоятельной сборки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карлащук, В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и её применение / В.И. Карлащук. – М. : Солон – Р, 2003. – 726 с.
2. Алиев, И.И. Виртуальная электротехника. Компьютерные технологии в электротехнике и электронике / И.И. Алиев. – М. : Радиософт, 2003. – 112 с.
3. Лачин, В.И. Электроника / В.И. Лачин, Н.С. Савелов. – Ростов : Феникс, 2000. – 448 с.
4. Карлащук, В.И. Электронная лаборатория на IBM PC: лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB / В.И. Карлащук. – М. : Солон – Р, 2004. – 799 с.
5. Панфилов, Д.И. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: практикум на Electronics Workbench. Том 1. Электротехника / Д.И. Панфилов. – М. : Додека, 1999. – 304 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### СХЕМЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ СБОРКИ

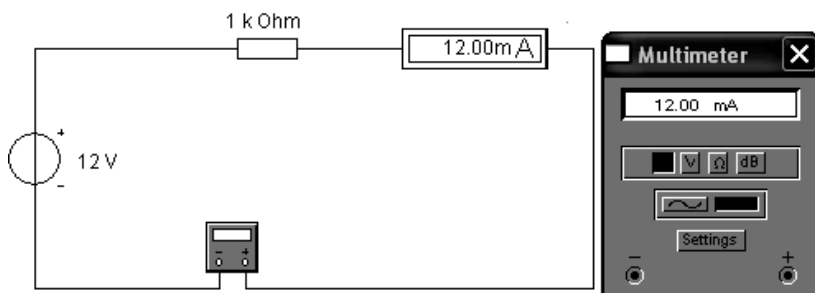


Схема 1

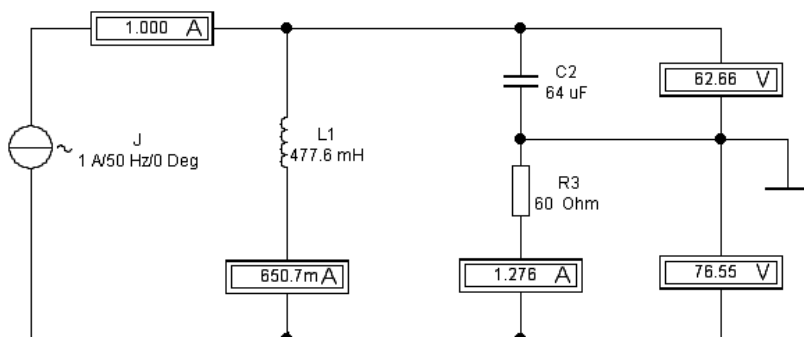
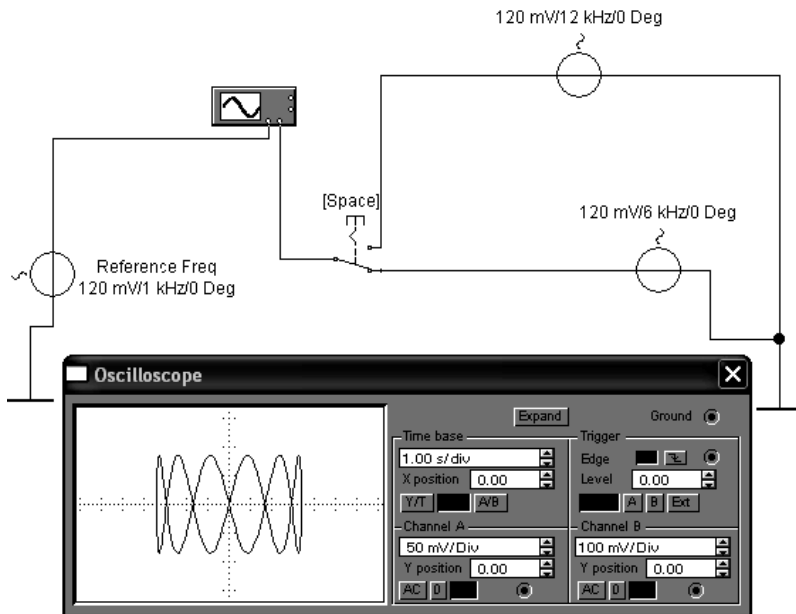
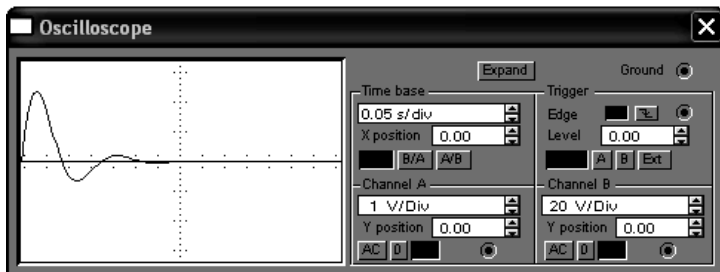
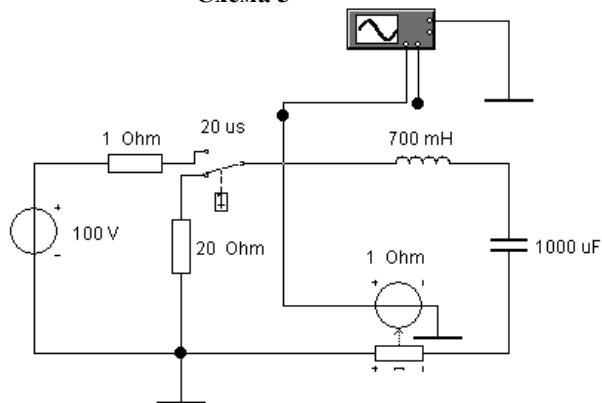


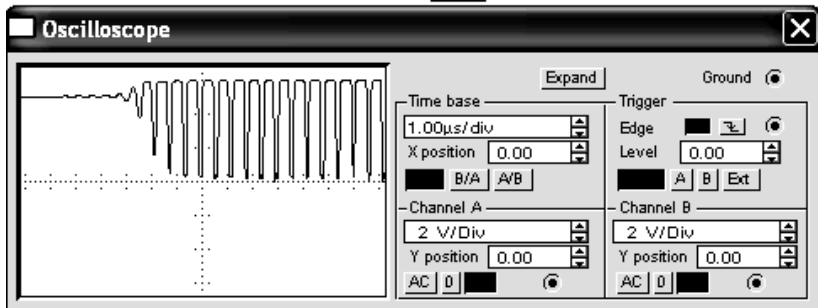
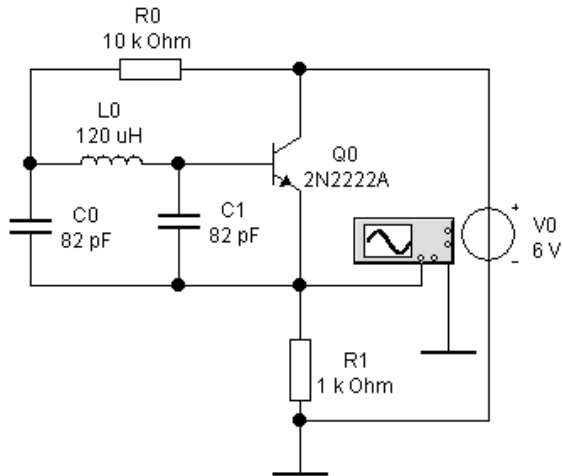
Схема 2



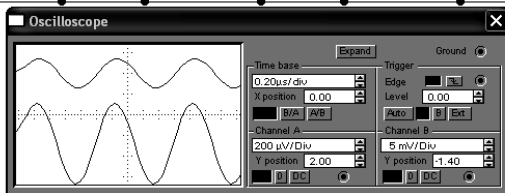
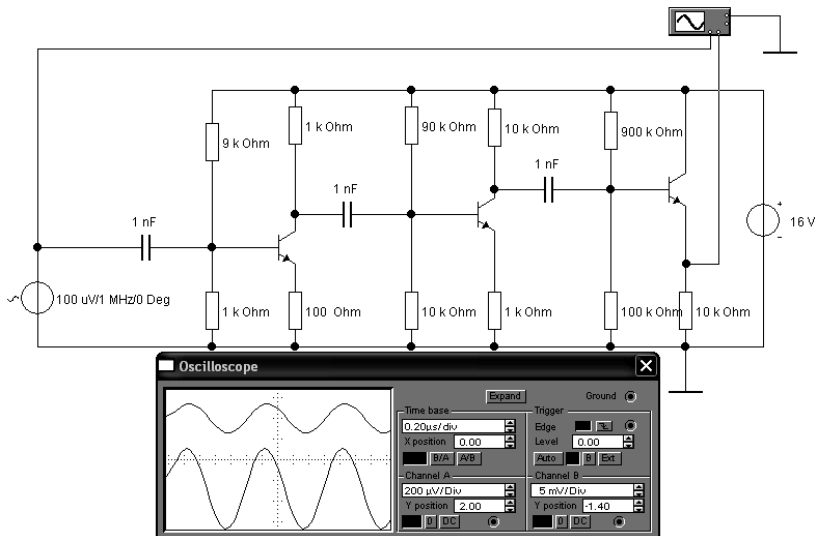
**Схема 3**



**Схема 4**



**Cxema 5**



**Cxema 6**



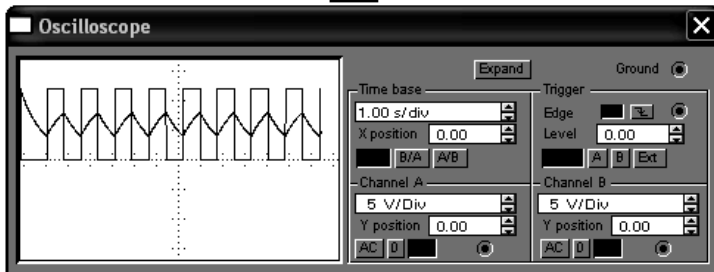
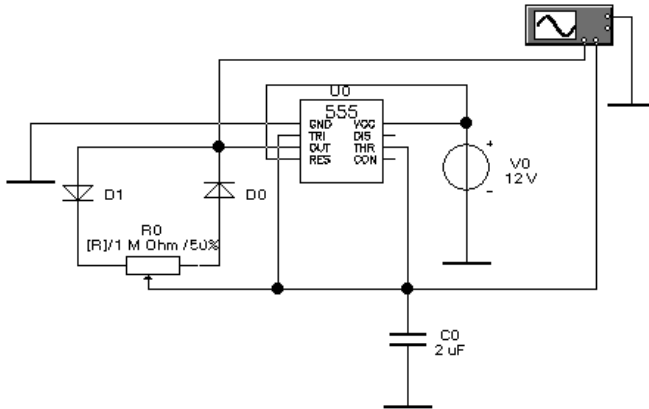


Схема 7

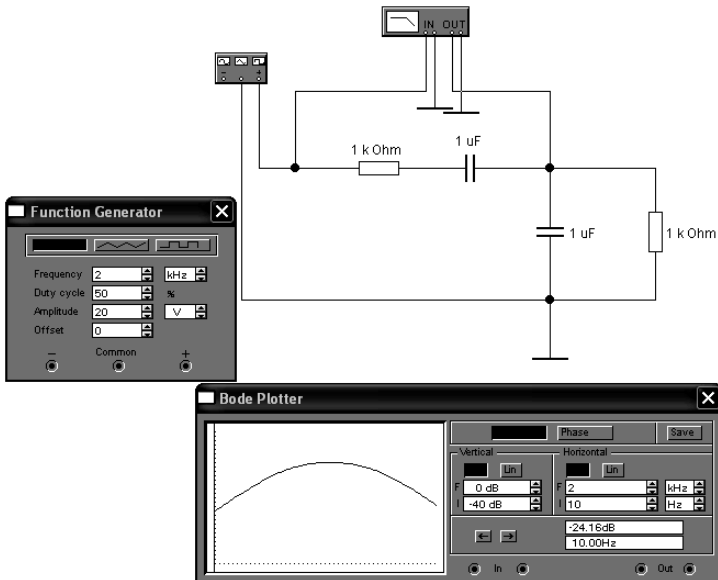
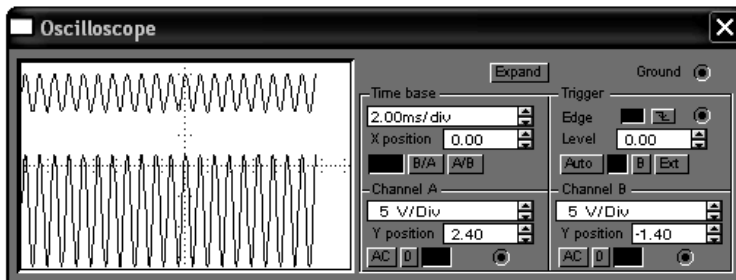
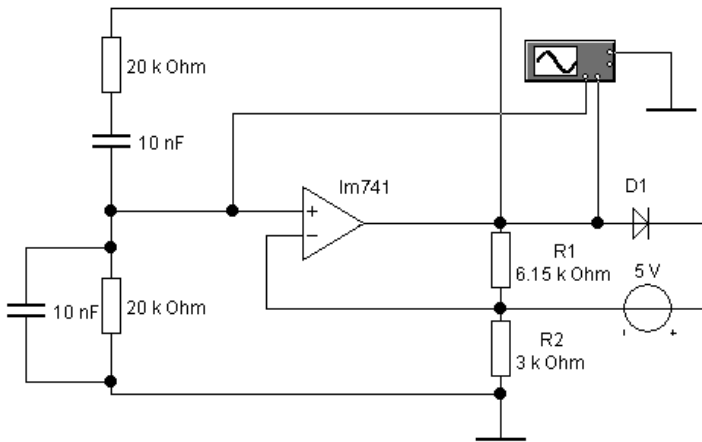
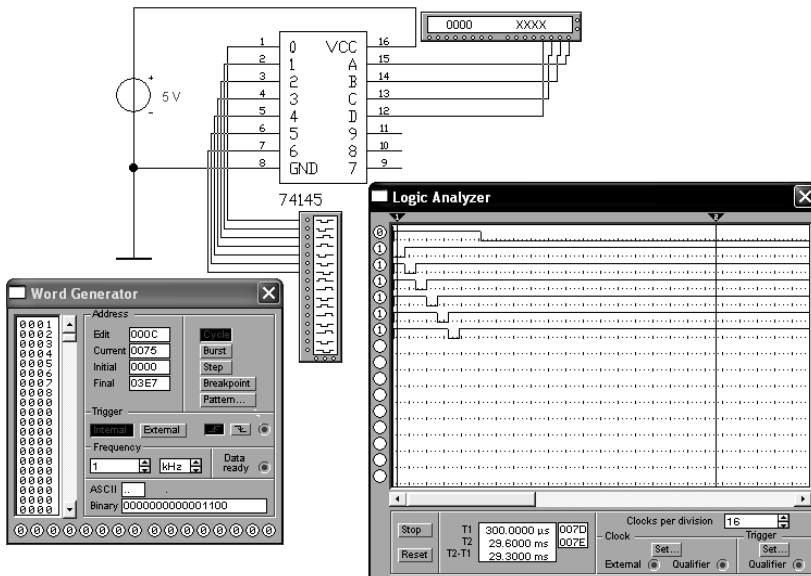


Схема 8



Cxema 9



Cxema 10

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. Интерфейс программного комплекса EWB .....	6
2. Компоненты .....	14
3. Источники .....	19
4. Элементы .....	21
5. Приборы для проведения измерений .....	29
6. Моделирование схем .....	43
Самостоятельная работа в EWB .....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	68
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	70