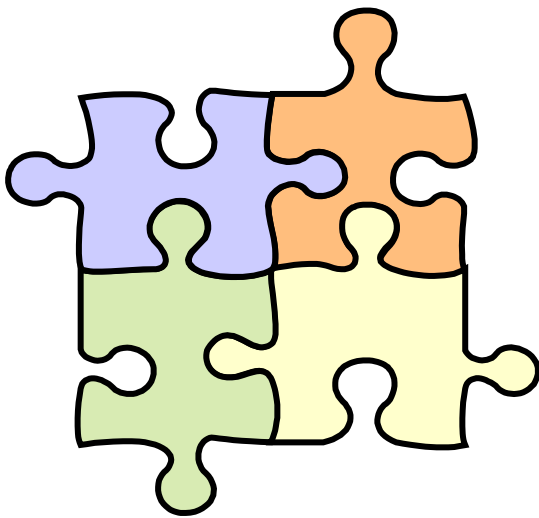


Н.Г. ЧЕРНЫШОВ, Т.И. ЧЕРНЫШОВА

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И  
АНАЛИЗ СХЕМ  
В ELECTRONICS WORKBENCH**



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

**Н.Г. ЧЕРНЫШОВ, Т.И. ЧЕРНЫШОВА**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СХЕМ В ELECTRONICS WORKBENCH**

*Рекомендовано УМО по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебно-методического пособия для студентов специальности 210200 дневного и заочного отделений*



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2005

УДК 621.396.6  
ББК Z844я73-5  
Ч49

Рецензент  
Доктор технических наук, профессор  
*Д.А. Дмитриев*

**Чернышов Н.Г., Чернышова Т.И.**

Ч49 Моделирование и анализ схем в Electronics Workbench: Учеб.-метод. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 52 с.

Приведены описания элементов программы Electronics Workbench, приборов для проведения измерений и методика моделирования электронных схем различной степени сложности.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов дневного и заочного отделений специальности 210200.

УДК 621.396.6

ББК Z844я73-5

- © Чернышов Н.Г., Чернышова Т.И., 2005  
© Тамбовский государственный  
технический университет (ТГТУ), 2005

Учебное издание

ЧЕРНЫШОВ Николай Генрихович,  
ЧЕРНЫШОВА Татьяна Ивановна

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СХЕМ В ELECTRONICS WORKBENCH

Учебно-методическое пособие

Редактор З.Г. Чернова

Компьютерное макетирование Е.В. Кораблевой

Подписано к печати 15.12.2005

Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Объем: 3,02 усл. печ. л.; 3,0 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 888<sup>M</sup>

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

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

Electronics Workbench может проводить анализ схем на постоянном и переменном 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 АС может проводиться как во временной, так и в частотной областях.

В Electronics Workbench можно исследовать переходные процессы при воздействии на схемы входных сигналов различной формы. Программа также позволяет производить анализ цифро-аналоговых и цифровых схем большой степени сложности. Имеющиеся в программе библиотеки включают в себя большой набор широко распространенных 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.

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

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

Electronics Workbench позволяет разместить схему таким образом, чтобы были четко видны все соединения элементов и одновременно вся схема целиком.

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

Для установки программы необходимы:

- IBM-совместимый компьютер с модификацией процессора не ниже 486;
- не менее 4 МВ свободного пространства на жестком диске;
- операционная система Microsoft Windows 3.1 или более поздние версии;
- манипулятор типа мышь.

В библиотеке 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.

Electronics Workbench 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°;
- 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.

Путем 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:

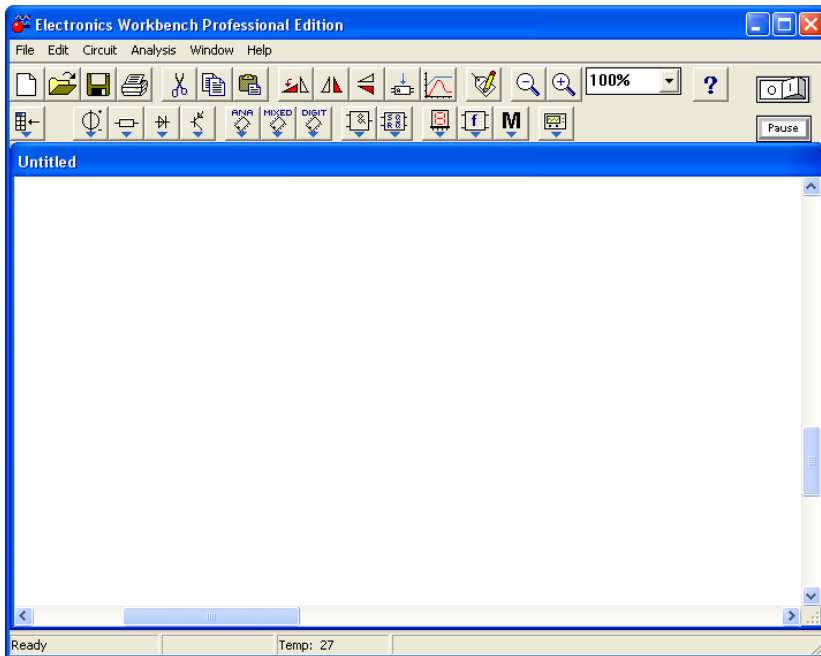
- одновременно наблюдать несколько кривых на графике;
- отображать кривые на графиках различными цветами;
- измерять координаты точек на графике;
- импортировать данные в графический редактор, что позволяет произвести необходимые преобразования рисунка и вывод его на принтер.

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

## 1 КОМПОНЕНТЫ

### 1.1 ПАНЕЛЬ КОМПОНЕНТОВ

Для операций с компонентами на общем поле Electronics Workbench выделены две области: панель компонентов и поле компонентов:



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

В библиотеке элементов программы Electronics Workbench 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.

## 1.2 БАЗОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ



**Соединяющий узел** применяется для соединения проводников и создания контрольных точек. К каждому узлу может подсоединяться не более четырех проводников.

**Заземление.**  
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.

## 2 ИСТОЧНИКИ

Все источники в Electronics Workbench идеальные.

### 2.1 НЕУПРАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ



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



**Источник постоянного тока.** Ток источника постоянного тока (direct current) измеряется в амперах и задается производными величинами (от мкА до кА).



**Источник переменного напряжения.** Действующее значение напряжения источника измеряется в вольтах и задается производными величинами (от мкВ до кВ). Имеется возможность установки частоты и начальной фазы.

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.** Действующее значение тока источника измеряется в амперах и задается производными величинами (от мкА до кА).



**Генератор тактовых импульсов** вырабатывает последовательность прямоугольных импульсов. Отсчет амплитуды импульсов генератора производится от вывода, противоположного выводу «+».



**Источник напряжения +5 В.** Используя этот источник напряжения, можно устанавливать

фиксированный потенциал узла 5 В или уровень логической единицы.



**Источник сигнала «логическая единица».** При помощи этого источника устанавливают уровень логической единицы в узле схемы.

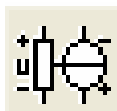
## 2.2 УПРАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ



**Источник напряжения, управляемый напряжением.** Отношение выходного напряжения к входному определяется коэффициентом пропорциональности  $E$ , который задается в мВ/В, В/В и кВ/В:

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

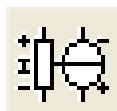
где  $V_{OUT}$  – выходное напряжение источника;  $V_{IN}$  – входное напряжение источника.



**Источник тока, управляемый напряжением.** 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.** Входной и выходной токи связаны коэффициентом пропорциональности  $F$ , который определяет отношение выходного тока к току в управляющей ветви и задается 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.



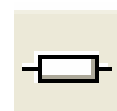
**Источник напряжения, управляемый током.** Передаточное сопротивление имеет размерность сопротивления и задается в мОм, Ом и кОм:

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

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

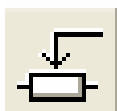
## 3 ЭЛЕМЕНТЫ

### 3.1 ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



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

помощи



**Переменный резистор.** Положение движка переменного резистора устанавливается при

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



**Переменный конденсатор.** Величину емкости устанавливают, используя ее начальное значение и значение коэффициента пропорциональности следующим образом:

значение и значение коэффициента пропорциональности следующим образом:

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

Значение емкости может устанавливаться с помощью клавиш-ключей.



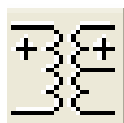
**Катушка индуктивности.** Индуктивность катушки (дресселя) измеряется в генри и задается производными величинами (от мкГн до Гн).



**Катушка с переменной индуктивностью.** Величину индуктивности этой катушки устанавливают, используя начальное значение ее индуктивности и коэффициента пропорциональности следующим образом:

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

Значение индуктивности может устанавливаться с помощью клавиш-ключей.

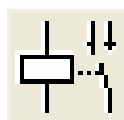


**Трансформатор** может быть выполнен с отводом средней точки.

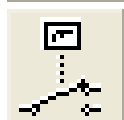
## 3.2 КЛЮЧИ

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

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



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



**Ключ, управляемый клавишей.** 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.

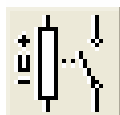
Используемые клавиши-ключи:

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



**Реле времени** представляет собой ключ, который размыкается в момент времени  $T_{off}$  и замыкается в момент времени  $T_{on}$ . Эти моменты должны быть больше 0.

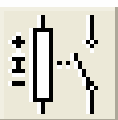
выключающее



**Ключ, управляемый напряжением,** имеет два управляющих параметра: включающее ( $V_{on}$ ) и

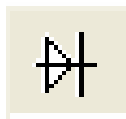
( $V_{off}$ ) напряжения.

**Ключ, управляемый током** 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.

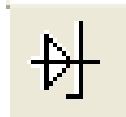


### 3.3 НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

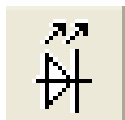
#### 3.3.1 Диоды



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

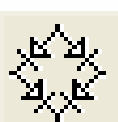


**Стабилитрон** обычно используют для стабилизации напряжения, для стабилитрона (диода Зенера) рабочим является отрицательное напряжение.



**Светоизлучающий диод (светодиод)** излучает видимый свет, когда проходящий через него

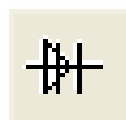
ток превышает пороговую величину.



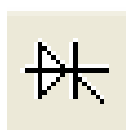
**Мостовой выпрямитель** предназначен для выпрямления переменного напряжения. При подаче на выпрямитель синусоидального напряжения среднее значение выпрямленного напряжения  $V_{dc}$  можно приблизительно вычислить по формуле

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

где  $V_p$  – амплитуда входного синусоидального напряжения.

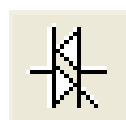


**Диод Шоттки** в отличие от простого диода, находится в отключенном состоянии до тех пор, пока напряжение на нем не превысит фиксированного уровня порогового напряжения.



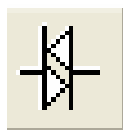
**Тиристор (управляемый вентиль).** У тиристора помимо анодного и катодного выводов имеется дополнительный вывод управляющего электрода. Он позволяет управлять моментом пере-

хода прибора в проводящее состояние.



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

**Династор** –



управляемый анодным напряжением двунаправленный переключатель.

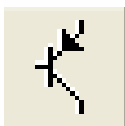
#### 3.3.2 Биполярные транзисторы

Биполярные транзисторы являются усилительными устройствами, управляемыми током. Они бывают двух типов:  $p-n-p$  и  $n-p-n$ .

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



$n-p-n$  транзистор имеет две  $n$ -области и одну  $p$ -область



$p-n-p$  транзистор имеет две  $p$ -области и одну  $n$ -область.



### 3.3.3 Полевые транзисторы

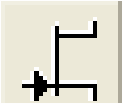
Полевые транзисторы управляются напряжением на затворе, т.е. ток, протекающий через транзистор, зависит от напряжения на затворе. Полевой транзистор включает в себя протяженную область полупроводника  $n$ -типа или  $p$ -типа, называемую каналом. Канал оканчивается двумя электродами, которые называются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

#### *Полевые транзисторы с управляющим $p$ - $n$ переходом*

Полевой транзистор с управляющим  $p$ - $n$ -переходом – униполярный транзистор, управляемый напряжением, в котором для управления током используется наведенное электрическое поле, зависящее от напряжения затвора.



В поле компонентов имеется два типа транзисторов:  $n$ -канальный и  $p$ -канальный.



В  $n$ -канальном полевом транзисторе затвор состоит из  $p$ -области, окруженной  $n$ -каналом.



В  $p$ -канальном полевом транзисторе затвор состоит из  $n$ -области, окруженной  $p$ -каналом.

#### *Полевые транзисторы на основе металлооксидной пленки*

Управление током, протекающим через полевой транзистор на основе металлооксидной пленки (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.** Подобно полевым транзисторам с управляющим  $p$ - $n$ -переходом, МОП-транзистор со встроенным каналом состоит из протяженной области полупроводника, называемой каналом. Для  $p$ -канального транзистора эта область является полупроводником  $p$ -типа, для  $n$ -канального транзистора –  $n$ -типа.

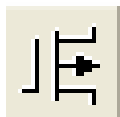
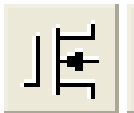


Трехвыводной  $n$ -канальный МОП-транзистор со встроенным каналом.



Трехвыводной  $p$ -канальный МОП-транзистор со встроенным каналом.

Четырехвыводной  $n$ -канальный МОП-транзистор со встроенным каналом.



Четырехвыводной  $p$ -канальный МОП-транзистор со встроенным каналом.

**МОП-транзисторы с индуцированным каналом** 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.

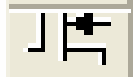
МОП-транзистор с индуцированным каналом работает только при положительном напряжении исток-затвор.



Трехвыводной  $n$ -канальный МОП-транзистор с индуцированным каналом.



Трехвыводной  $p$ -канальный МОП-транзистор с индуцированным каналом.

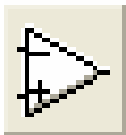


Четырехвыводной  $n$ -канальный МОП-транзистор с индуцированным каналом.



Четырехвыводной  $p$ -канальный МОП-транзистор с индуцированным каналом.

### 3.3.4 Интегральные микросхемы



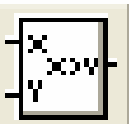
**Операционный усилитель (ОУ)** – усилитель, предназначенный для работы с обратной связью. Модель операционного усилителя позволяет задавать параметры: коэффициент усиления, напряжение смещения, входные токи, входное и выходное сопротивления.

жительный и отрицательный) для подключения питания.



**Операционный усилитель с пятью выводами** имеет два дополнительных вывода (поло-

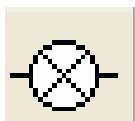
**Умножитель напряжений** перемножает два входных напряжения  $V_x$  и  $V_y$ . Выходное напряжение  $V_{OUT}$  рассчитывается по формуле



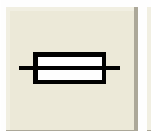
$$V_{OUT} = kV_xV_y,$$

где  $k$  – константа умножения, которая может устанавливаться пользователем.

### 3.3.5 Прочие нелинейные элементы



**Лампа накаливания.** Элемент резистивного типа, преобразующий электроэнергию в световую энергию.

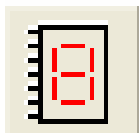


**Предохранитель.** Разрывает цепь, если ток в ней превышает максимальный ток  $I_{max}$ . Это значение может иметь величину в диапазоне от мА до кА.

## 4 ЦИФРОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Цифровые элементы программы представлены следующими группами: индикаторы, логические элементы, узлы комбинационного типа, узлы последовательного типа, гибридные элементы.

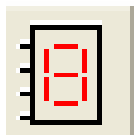
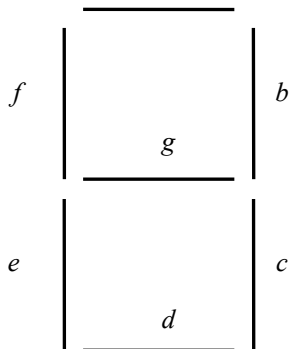
### 4.1 ЗВУКОВЫЕ И СВЕТОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ



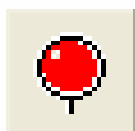
**Семисегментный индикатор.** Каждый из семи выводов индикатора управляет соответствующим сегментом, от  $a$  до  $g$ .

Наименование сегментов семисегментного индикатора:

$a$



**Дешифрующий семисегментный индикатор** служит для отображения на своем дисплее шестнадцатеричных чисел от 0 до F, задаваемых состоянием на входе индикатора.



**Пробник логического уровня** определяет логический уровень (0 или 1) в конкретной точке схемы. Если исследуемая точка имеет уровень логической единицы, индикатор загорается красным.

ным цветом. С помощью команды

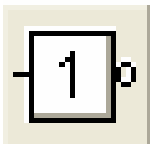
*Value* в меню *Circuit* можно изменить цвет свечения пробника.



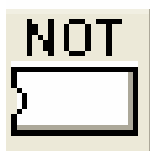
**Зуммер** применяется для звуковой сигнализации о превышении подводимого к нему напряжения. С помощью команды *Value* в меню *Circuit* можно задать пороговое напряжение и частоту звукового сигнала.

## 4.2 ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Electronics Workbench содержит полный набор логических элементов и позволяет задавать их основные характеристики, в том числе тип элемента: ТТЛ или КМОП. Число входов логических элементов схем можно установить в пределах от двух до восьми, но выход элемента может быть только один.



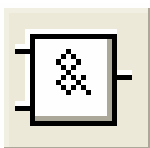
**Логическое НЕ.** Элемент логическое *НЕ* или инвертор изменяет состояние входного сигнала на противоположное. Уровень логической единицы появляется на его выходе, когда на входе *НЕ* единица, и наоборот. Можно уже выбрать определенную микросхему, которая указана значком.



Выражения Булевой алгебры:

$$Y = A';$$

$$Y = \bar{A}.$$



**Логическое И.** Элемент *И* реализует функцию логического умножения. Уровень логической единицы на его выходе появляется в случае, когда на один *И* на другой вход подается уровень логической единицы. Можно уже выбрать определенную микросхему, которая указана значком.

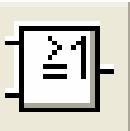


Выражения Булевой алгебры:

$$Y = A \cdot B;$$

$$Y = A \& B.$$

**Л**

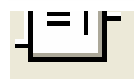
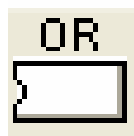


**Логическое ИЛИ.** Элемент *ИЛИ* реализует функцию логического сложения. Уровень логической единицы на его выходе появляется в случае, когда на один *ИЛИ* на другой вход подается уровень логической единицы. Можно уже выбрать определенную микросхему, которая задана значком.

Выражения Булевой алгебры:

$$Y = A + B;$$

$$Y = A / B.$$



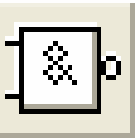
**Исключающее ИЛИ.** Двоичное число на выходе элемента исключающее *ИЛИ* является младшим разрядом суммы двоичных чисел на его входах. Можно уже выбрать определенную микросхему, которая указана значком.

Выражения Булевой алгебры:

$$Y = A \oplus B;$$

$$Y = \bar{A}B + A\bar{B}.$$





Элемент **И-НЕ** реализует функцию логического умножения с последующей инверсией результата. Можно уже выбрать определенную микросхему, которая указана значком.



Выражения Булевой алгебры:

$$Y = (A \cdot B)';$$

$$Y = \overline{A \cdot B}.$$



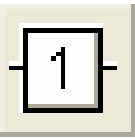
Элемент **ИЛИ-НЕ** реализует функцию логического сложения с последующей инверсией результата. Можно уже выбрать определенную микросхему, которая указана значком.



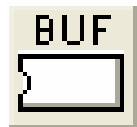
Выражения Булевой алгебры:

$$Y = (A + B)';$$

$$Y = \overline{A + B}.$$

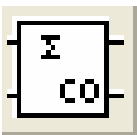


**Буфер** служит для подачи больших токов в нагрузку. Данный буфер является неинвертирующим. Можно уже выбрать определенную микросхему, которая указана значком



**Буфер с тремя состояниями** имеет дополнительный разрешающий вход (*enable input*).

### 4.3 УЗЛЫ КОМБИНАЦИОННОГО ТИПА

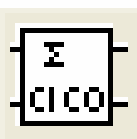


**Полусумматор** производит сложение двух одноразрядных двоичных чисел. Он имеет два входа слагаемых:  $A$ ,  $B$  и два выхода: суммы ( $Sum$ ) и переноса ( $Carry$ ). Суммирование производится элементом Иключающее ИЛИ, а перенос – элементом И.

Выражения Булевой алгебры:

$$Сумма = A \oplus B;$$

$$Перенос = A \cdot B.$$



**Полный двоичный сумматор** производит сложение трех одноразрядных двоичных чисел. Результатом является двухразрядное двоичное число, младший разряд которого назван суммой, старший разряд – переносом.

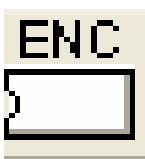
Устройство имеет три входа и два выхода. Входы: слагаемых –  $A$ ,  $B$  и переноса –  $Carry_{IN}$ . Выходы: суммы –  $Sum$  и переноса –  $Carry_{OUT}$ . Полный двоичный сумматор можно реализовать на двух полусумматорах и одном элементе ИЛИ.



**Дешифратор из трех в восемь** имеет три входа адреса ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ), два разрешающих входа ( $G1$ ,  $G2$ ) и восемь выходов ( $Y0...Y7$ ). Номер выхода, имеющего активное состояние, равен числу  $N$ , определяемому состоянием адресных входов:

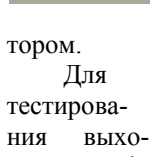
$$N = 2^2 C + 2^1 B + 2^0 A.$$

Активным уровнем является уровень логического нуля. Дешифратор работает, если на входе  $G1$  высокий потенциал, а на  $G2$  – низкий. В других случаях все выходы пассивны, т.е. имеют уровень логической единицы.



**Приоритетный шифратор из восьми в три** выполняет операцию, обратную дешифратору. Строго говоря, только один из входов шифратора должен иметь активный уровень.

Данный шифратор при наличии на нескольких входах активного состояния активным считает вход со старшим номером. Кроме того, выход дешифратора инверсный, т.е. значения разрядов двоичного числа на выходе инвертированы.

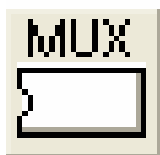


**Семисегментный дешифратор** предназначен для управления семисегментным индикатором.

Для тестирования выходов дешиф-

раторов используется вывод  $LT$ . Когда на этот вход подан уровень логического нуля, на всех выхода – логическая единица.

Все выходы дешифратора устанавливаются в нуль при подаче на вход  $VI$  логического нуля.

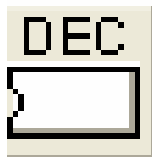


**Мультиплексор из восьми в единицу** (селектор данных) осуществляет операцию передачи сигнала с выбранного входа на выход.

Данный мультиплексор имеет 12 входов, восемь из которых – входы данных ( $D0 - D7$ ); три – входы адреса ( $A, B, C$ ) и один – разрешающий вход ( $EN$ ). Мультиплексор работает при подаче на вход разрешения логического нуля.

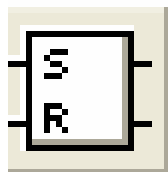
Выход  $W$  является дополнением выхода  $Y$ . ( $W = Y'$ ).

**Демультимплексор** выполняет операцию, обратную мультиплексору. Он передает данные со входа на тот вывод, номер которого равен адресу. Данное устройство имеет четыре входа и восемь выходов. Входы адреса:  $A, B, C$ . Вход данных –  $G$ . Если на входе  $G$  логическая единица, то на всех выходах – также логическая единица.



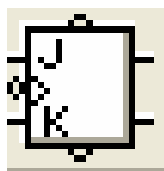
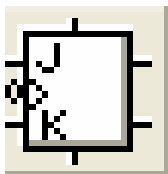
#### 4.4 УЗЛЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ТИПА

**Триггер** – простейший последовательный элемент с двумя состояниями, содержащий элементарную запоминающую ячейку и схему управления, которая изменяет состояние элементарной ячейки. Состояние триггера зависит как от комбинации на входах, так и от предшествующего состояния. Триггерные устройства лежат в основе компьютерной оперативной памяти и используются во множестве последовательных схем. Триггер можно создать из простых логических элементов.

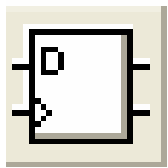


**RS-триггер** имеет только два установочных входа:  $S$  (set – установка) – установка выхода  $Q$  в единицу и  $R$  (reset – сброс) – сброс выхода  $Q$  в нуль. Для этого триггера является недопустимой одновременная подача команд установки и сброса ( $R = S = 1$ ), поэтому состояние выхода в этом случае остается неопределенным и, вообще говоря, не описывается.

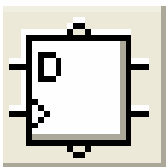
**JK-триггер со входами установки логической единицы.** Отличительной особенностью JK-триггера является наличие двух информационных входов:  $J$  и  $K$ . Эти входы определяют изменение состояния триггера по фронту импульса на счетном входе.



**JK-триггер со входами установки логического нуля** подобен JK-триггеру, описанному выше, за исключением того, что установка триггера производится логическим нулем.

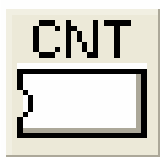


**D-триггер.** Информация со входа  $D$  заносится в триггер по положительному перепаду тактового импульса и сохраняется до следующего положительного перепада на счетном входе.



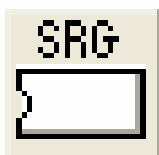
**D-триггер со входами установки логического нуля.** Этот триггер подобен D-триггеру, описанному выше, за исключением того, что у него имеется два установочных входа: установка ( $Present$ ) и сброс ( $Clear$ ), работающих как у RS-триггера.

зации и

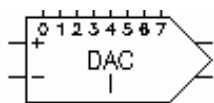


**Счетчик** представляет собой четырехразрядный счетчик с двумя входами синхронизации и четырьмя выходами.

**Четырехразрядный сдвиговый регистр** – элемент, содержимое выходов которого при подаче тактового импульса может сдвигаться в сторону младших или старших разрядов. Он представляет собой несколько взаимосвязанных триггеров.



#### 4.5 ГИБРИДНЫЕ КОМПОНЕНТЫ



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

Выходной ток определяется по формуле

$$I_{\text{вых}} = (N_{\text{вх}} / 256) I_{\text{оп}},$$

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

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

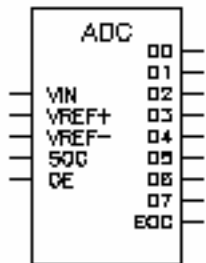
Второй выход является дополнением первого. Его ток определяется из выражения

$$I'_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ОП}} - I_{\text{ВЫХ}}$$

В Electronics Workbench также имеется ЦАП, который осуществляет преобразование цифрового сигнала в напряжение на выходе, определяемого по формуле

$$U_{\text{ВЫХ}} = (N_{\text{ВХ}} / 256) U_{\text{ОП}}$$

где  $U_{\text{ОП}}$  – опорное напряжение.

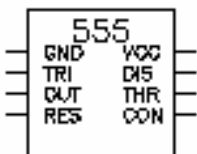


**Аналого-цифровой преобразователь** (АЦП) производит преобразование аналогового напряжения в число. Представленный АЦП переводит аналоговое напряжение  $U_{\text{ВХ}}$  на входе в 8-разрядное двоичное число  $N_{\text{ВЫХ}}$  по формуле

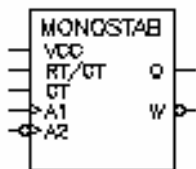
$$N_{\text{ВЫХ}} = (U_{\text{ВХ}} / U_{f_s}) 256,$$

где  $U_{f_s} = U_{\text{ОП+}} - U_{\text{ОП-}}$  – разница напряжений на опорных входах.

**Таймер** –  
Изменение  
555 таймер –  
вибратор или  
время,  
состоит из двух



элемент, имеющий цифровой вход и выход. Он характеризуется временем задержки  $T_d$ . Состояние на его выходе происходит через время, определяемое временем задержки  $T_d$ . интегральная схема, наиболее часто употребляемая как мультивибратор, одно-управляемый напряжением генератор. Состояние выхода таймера изменяется через определяемое внешней времязадающей RC-цепью. Принципиально 555 таймер компараторов, делителя напряжения, триггера и разряжающего транзистора.




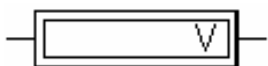
**Одновибратор** вырабатывает импульс фиксированной длительности в ответ на управляющий перепад на его входе. Длина выходного импульса определяется внешней времязадающей RC-цепью.

## 5 ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

### 5.1 ПРИБОРЫ БИБЛИОТЕКИ ИНДИКАТОРОВ

Простейшими приборами в Electronics Workbench 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** 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.

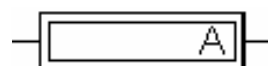
При измерении переменного синусоидального напряжения (AC) вольтметр будет показывать действующее значение напряжения  $U_d$ , определяемое по формуле

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

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.



**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.

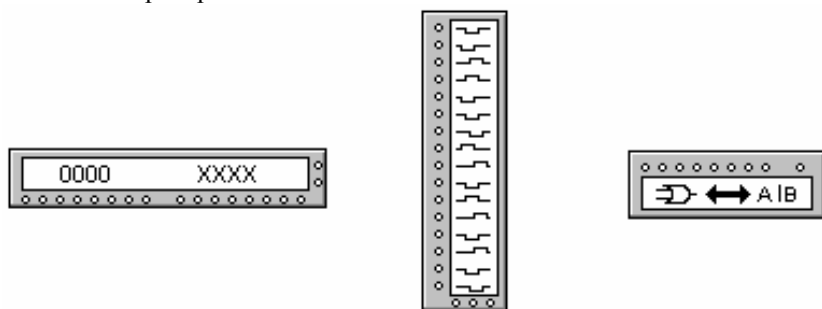
## 5.2 ПРИБОРЫ ПАНЕЛИ ПРИБОРОВ

Кроме описанных амперметра и вольтметра в Electronics Workbench 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, Боде-плоттер:



Справа расположены приборы для формирования и наблюдения логических величин: генератор слов, логический анализатор, логический преобразователь:



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

Для настройки его уменьшенном виде. На увеличенном выбирается: измеряемая величина по единице измеряемого сигнала – переменный или мультиметра.

Установка вида измеряемой величины на увеличенном изображении мультиметра устанавливает мультиметр для измерения напряжения, постоянная составляющая измерения постоянного напряжения и тока нажать кнопку с символом «←».



мультиметра нужно двойным щелчком мыши на изображении открыть его увеличенное изображение нажатием левой кнопки мыши на измерение –  $A$ ,  $V$ ,  $\Omega$  или  $dB$ ; вид постоянный; режим установки параметров

производится нажатием соответствующей кнопки мультиметра. Нажатие кнопки с символом «←» действующего значения переменного тока и сигнала при измерении не учитывается. Для нужно на увеличенном изображении мультиметра

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 Electronics Workbench стандартный прибор, предназначенный для измерения сопротивления. Для использования мультиметра в качестве омметра его следует подсоединить параллельно участку цепи, сопротивление которого нужно измерить, на увеличенном изображении мультиметра нажать кнопку  $\Omega$  и кнопку с символом «←» переключения в режим измерения постоянного тока. Включить схему. На табло мультиметра при этом появится измеренное значение сопротивления.

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



Для измерения уровня напряжения в децибелах на увеличенном изображении мультиметра следует нажать 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.

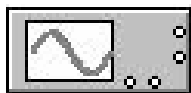
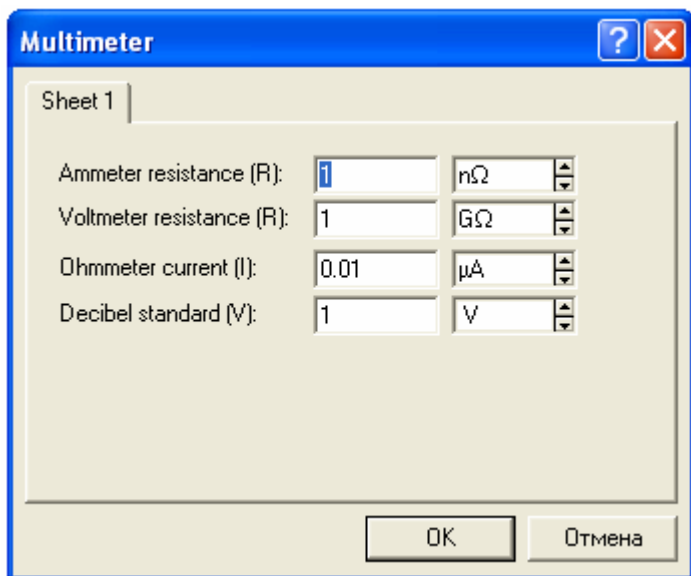
Уровень напряжения в децибелах подсчитывается следующим образом:

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

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.

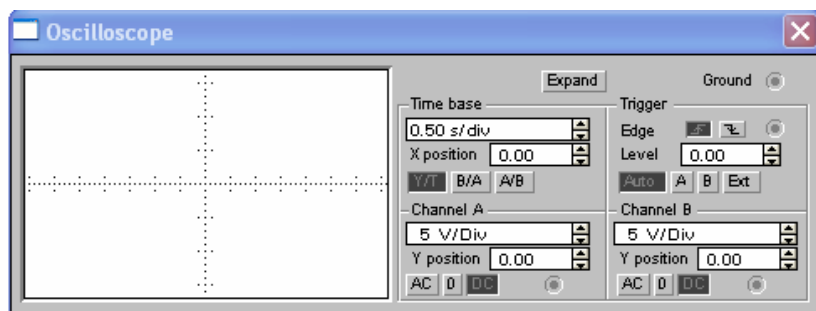
Клавишу *SETTINGS* следует использовать для настройки: входного сопротивления вольтметра, последовательного сопротивления амперметра, измерительного тока омметра, опорного напряжения для отсчета в децибелах.



**Осциллограф**, имитируемый программой Workbench, 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.

Осциллограф можно подключить к уже включенной 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 развертки 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:

- 1) горизонтальной разверткой (*Time base*);
- 2) синхронизацией (*Trigger*);
- 3) каналом *A*;
- 4) каналом *B*.



Поле управления горизонтальной разверткой (масштабом времени) служит для задания масштаба горизонтальной оси осциллографа при наблюдении напряжения на входах каналов *A* и *B* в зависимости от времени. Временной масштаб задается 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 , 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 кнопки *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.

Две нижних 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 мВ/дел до 5 кВ/дел. Масштаб для каждой оси устанавливается отдельно. Чтобы получить удобное для работы изображение на экране осциллографа перед началом эксперимента, следует установить 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*, следует воспользоваться 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.

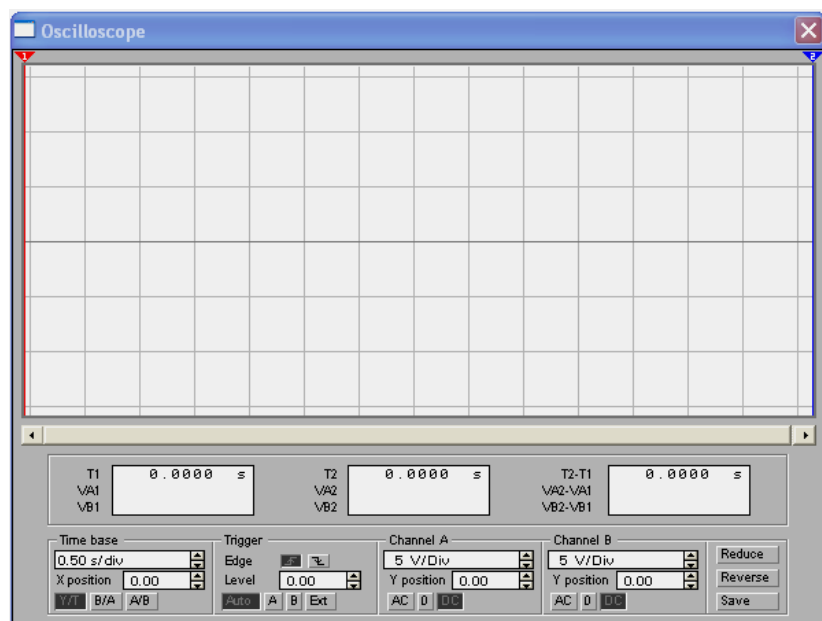
Осциллограф имеет четыре режима синхронизации.

1 Автоматический режим (*AUTO*) – запуск осциллограммы производится автоматически при подключении осциллографа к схеме или при ее включении. Когда «луч» доходит до конца экрана, осциллограмма снова прописывается с начала экрана (новый экран).

2 Режимы запуска по входу *A* или *B*, в которых запускающим сигналом является сигнал, поступающий на соответствующий вход.

3 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 следует просто перетащить 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 следует нажать кнопку *Save* (Сохранить) и в диалоговом окне ввести имя файла.

Чтобы вернуться к прежнему изображению осциллографа, следует нажать клавишу *REDUCE*, расположенную в правом нижнем углу.



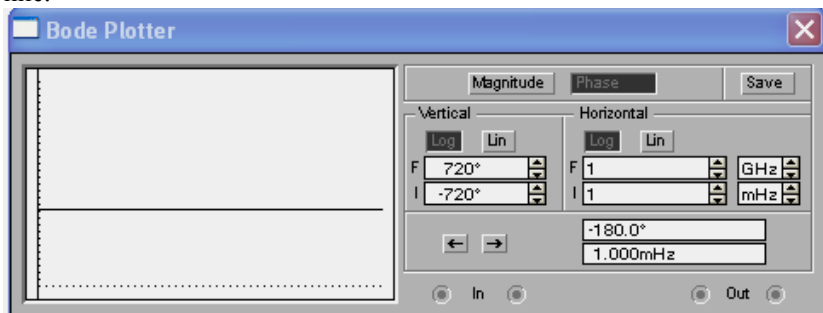
**Бode-плоттер (графопостроитель)** используется для получения амплитудно-частотных (АЧХ) и фазочастотных (ФЧХ) характеристик схемы.

Бode-плоттер измеряет отношение амплитуд сигналов в двух точках схемы и фазовый сдвиг между ними. Отношение амплитуд сигналов может измеряться в децибелах. Для измерения Бode-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.

Бode-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 Бode-плоттера открывается его увеличенное изображение.



Верхняя панель плоттера задает вид получаемой характеристики: АЧХ или ФЧХ. Для получения АЧХ следует нажать кнопку *Magnitude*, для получения ФЧХ – кнопку *Phase*.

Левая панель управления (*Vertical*) задает:

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:

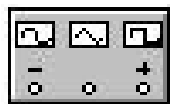
в) в линейном масштабе от 0 до 10E9;

г) в логарифмическом масштабе от –200 dB до 200 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 Бode-плоттера нетрудно построить топографическую диаграмму на комплексной плоскости для любой схемы.

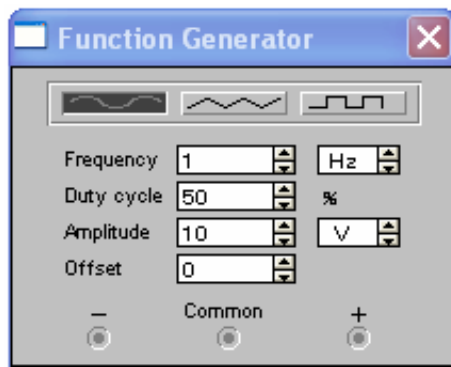


**Функциональный генератор** является идеальным источником напряжения, вырабатывающим сигналы синусоидальной, прямоугольной или треугольной формы.

Средний вывод генератора при подключении к схеме обеспечивает общую точку для отсчета амплитуды переменного напряжения. Для отсчета 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.



Выбрать требуемую форму выходного сигнала и нажать 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 задает длительность (в процентах от периода сигнала) между интервалом нарастания напряжения и интервалом спада. Установив, например, значение 20, можно получить длительность интервала нарастания 20 % от периода, а длительность интервала спада – 80 %. Для прямоугольной формы напряжения этот параметр задает 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, mV, V, kV – мкВ, мВ, В, кВ соответственно).

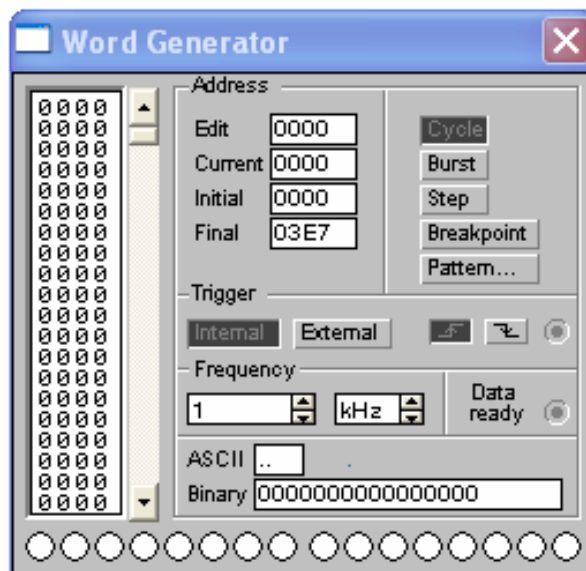
### 4 Установка постоянной составляющей выходного напряжения.

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** 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 подается 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 шестнадцатичной 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 следует нажать кнопку *Pattem...* на панели генератора слов и в появившемся окне выбрать *SAVE* и ввести 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 щелкнуть 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 трех 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 еще 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 выдается одно слово.

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

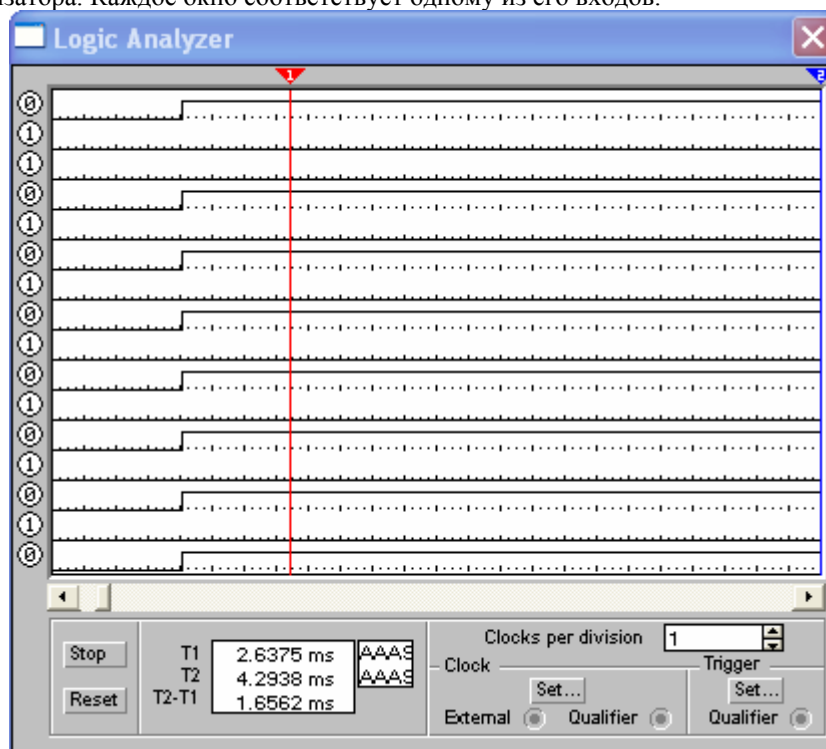
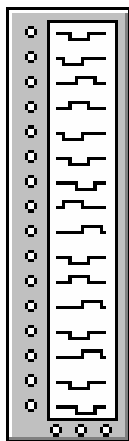
Для синхронизации работы схемы с генератором можно установить частоту импульсов в пределах от Гц до МГц в окне *FREQUENCY*.

**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, приведенное ниже на рисунке.

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.

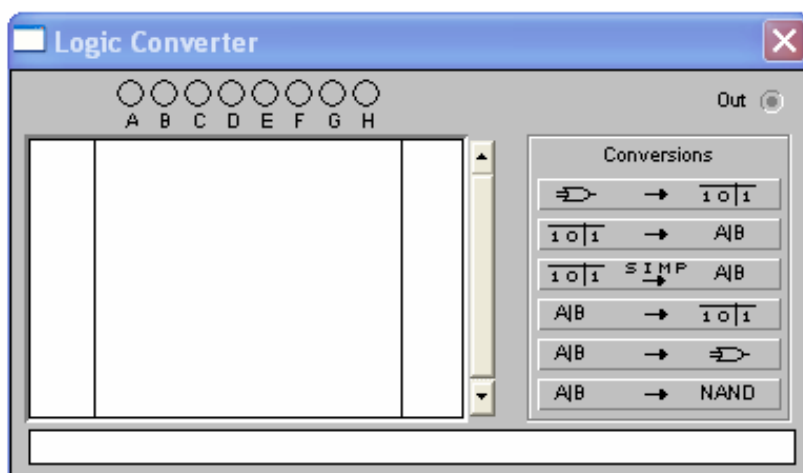
В поле *TIME BASE* устанавливается временной масштаб по горизонтальной оси.



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

- а) получение таблицы истинности исследуемой схемы;
- б) преобразование таблицы истинности в логическое выражение;
- в) преобразование логического выражения в таблицу истинности;
- г) 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 (*A, B, C, 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.

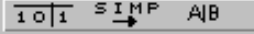


Ввод и преобразования таблицы истинности.

Для того чтобы создать таблицу истинности, необходимо в левой верхней части прибора выбрать число переменных от *A* до *H* (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.

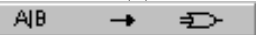
Для получения таблицы истинности функции, заданной логическим выражением, необходимо:

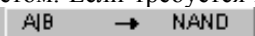
- в строку преобразователя ввести при помощи клавиатуры логическое выражение;
- нажать кнопку .

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 следует ввести логическое выражение и нажать кнопку .

После нажатия этой кнопки на рабочем поле Electronics Workbench 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

Electronics Workbench позволяет строить аналоговые, цифровые и цифро-аналоговые схемы различной 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:

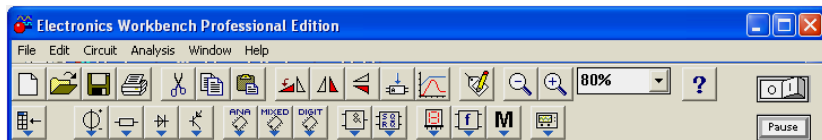
- выбор компонента из библиотеки компонентов;



- 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 ее участок можно просмотреть при помощи линеек прокрутки, расположенных справа и под рабочим полем.

После построения схемы и подключения приборов анализ ее 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. Распределение компонентов по полям компонентов смотрите в разделе 1.2. 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 изобра-



жение указателя изменится на ) и щелкнуть 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 *Ctrl + R* или на рабочей панели нажать кнопку . При этом объект повернется 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 *Ctrl + C* или на рабочей па-




нели 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

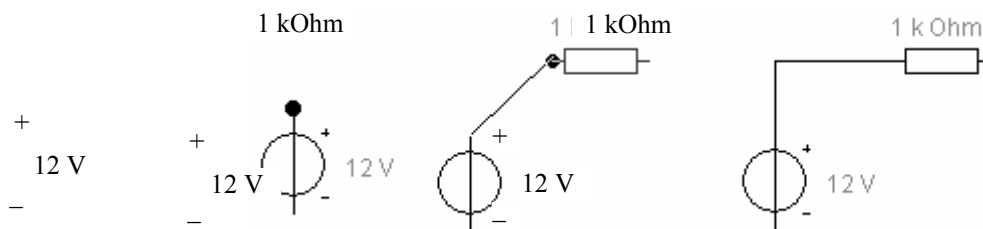


*Ctrl + V* или на рабочей панели нажать кнопку . После выполнения команды содержимое буфера появится на рабочем поле и будет выделено цветом.

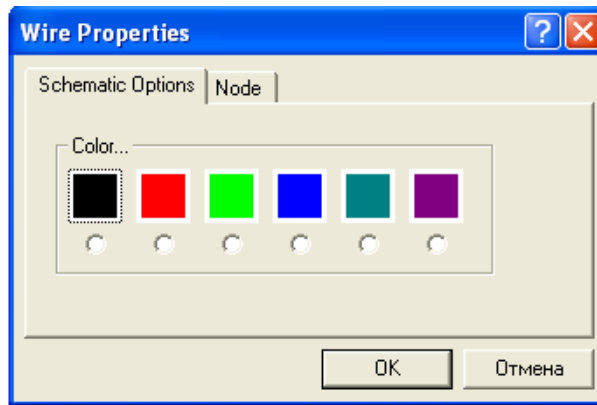


Удаление объекта осуществляется командами *Cut* (на рабочей панели кнопка ) и *Delete*. Отличие состоит в том, что при выполнении команды *Cut* объект удаляется в буфер и может быть, затем вставлен обратно на рабочее поле, а при выполнении команды *Delete* объект удаляется совсем. Перед удалением объект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

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

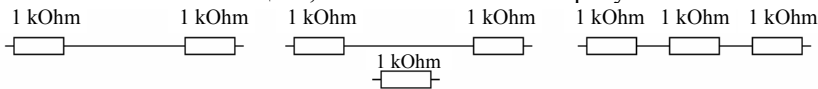


Все проводники в Electronics Workbench по умолчанию черного цвета, но цвет проводника можно изменить. Для этого нужно двойным щелчком на изображении проводника открыть окно, приведенное на рисунке, и в окне мышью выбрать требуемый цвет.




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

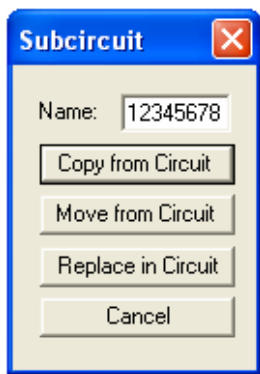
После того, как схема построена, можно вставить в нее дополнительные компоненты. Для этого нужно мышью переместить компонент в требуемую точку схемы и, поместив его над проводником, отпустить кнопку мыши. Компонент автоматически вставится в цепь, как показано ниже на рисунке.




### Создание субблоков:

Electronics Workbench 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*

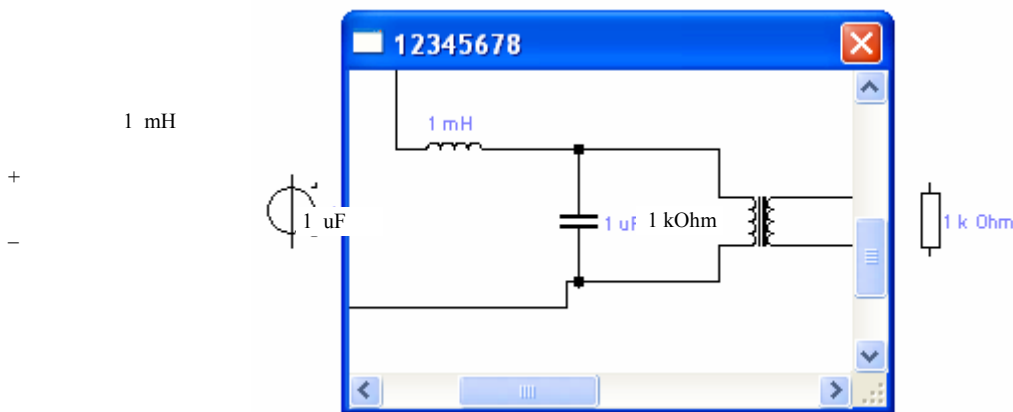
или на рабочей панели нажать кнопку . На экране появится диалоговое окно, приведенное ниже на рисунке.



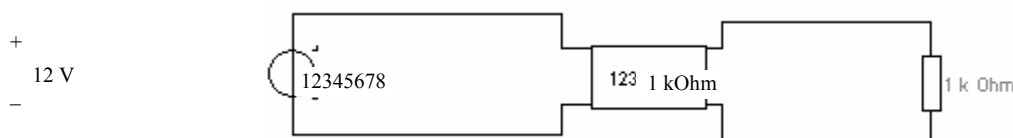
- В строке Name нужно ввести имя субблока, затем нужно нажать одну из четырех кнопок:
- скопировать из схемы (Copy from circuit);
  - выделить из схемы (Move from circuit);
  - заменить в схеме (Replace in circuit);
  - отмена (Cancel).

При нажатии кнопки «Скопировать из схемы» () схема остается без изменений, а в поле компонентов *Favorites* (кнопка ) 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 ниже на рисунке. В поле компонентов *Favorites* появляется изображение субблока с присвоенным ему именем.

ним ему именем.



При нажатии на кнопку «Заменить в схеме» () 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.



### 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 дает возможность значительно повысить качественный уровень проведения лабораторных и практических занятий. Программа *Electronics Workbench* совместима с программой *P-SPICE*, то есть предоставляет возможность экспорта и импорта схем и результатов измерений в различные ее версии.

В приложении приведены варианты схем для самостоятельной сборки.

### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

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



СХЕМЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ СБОРКИ

Схема 1

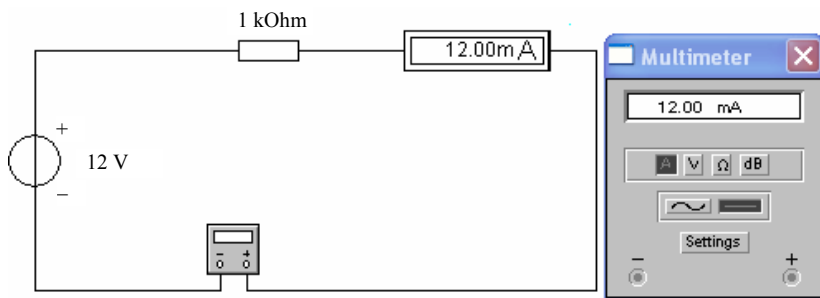
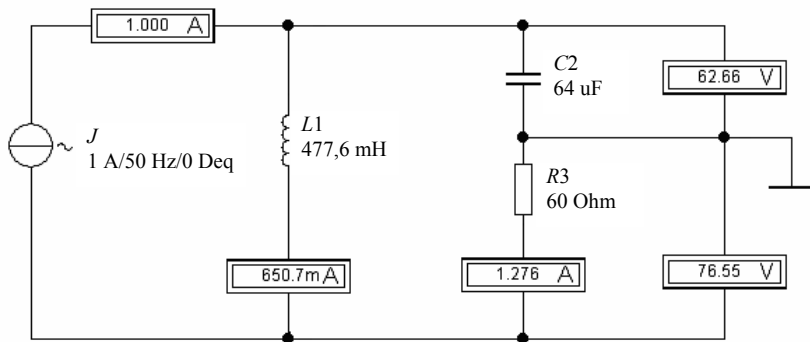
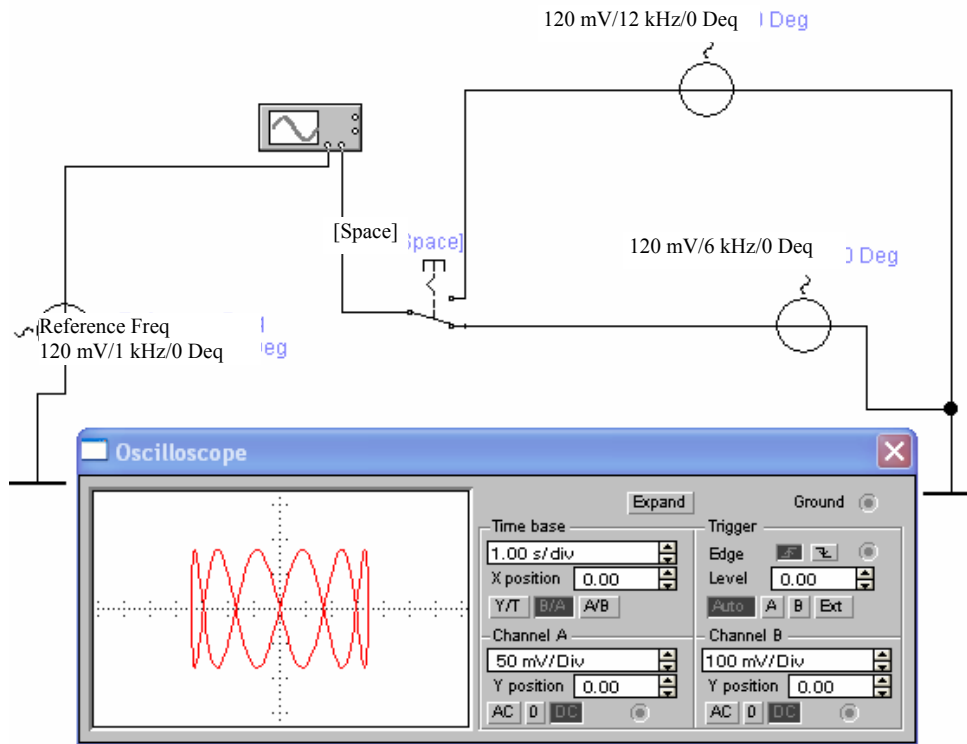


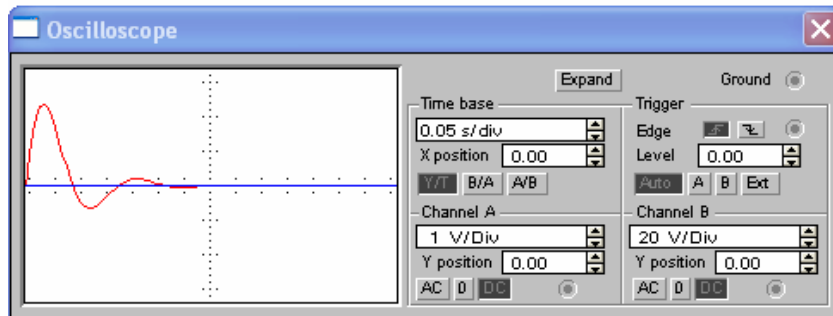
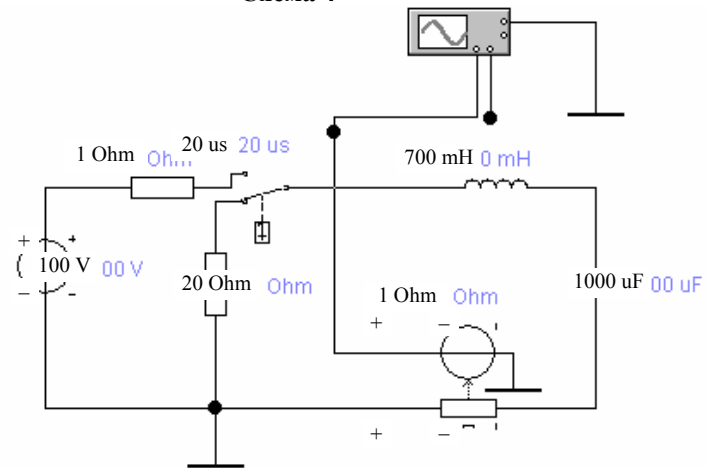
Схема 2



**Cхема 3**



**Cхема 4**



**Cхема 5**

R0  
10 kOhm

Q0  
2N 2222A

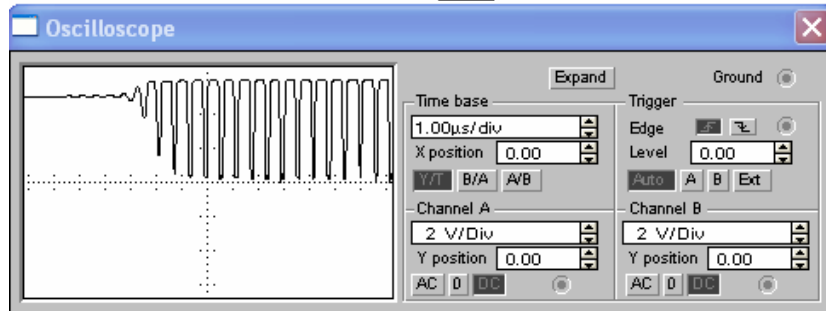
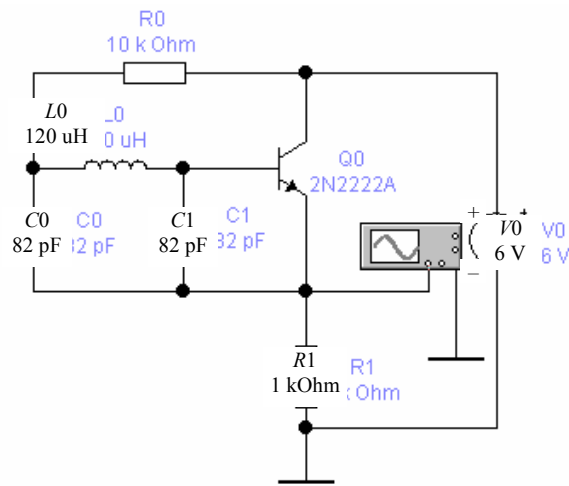


Схема 6

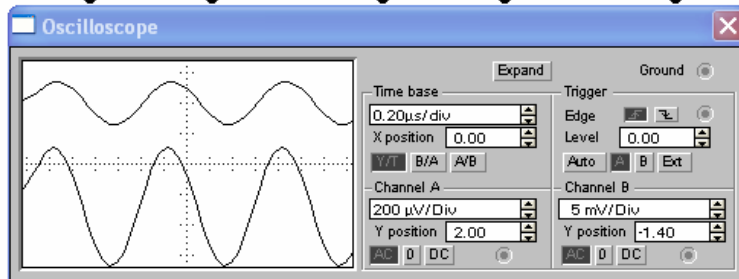
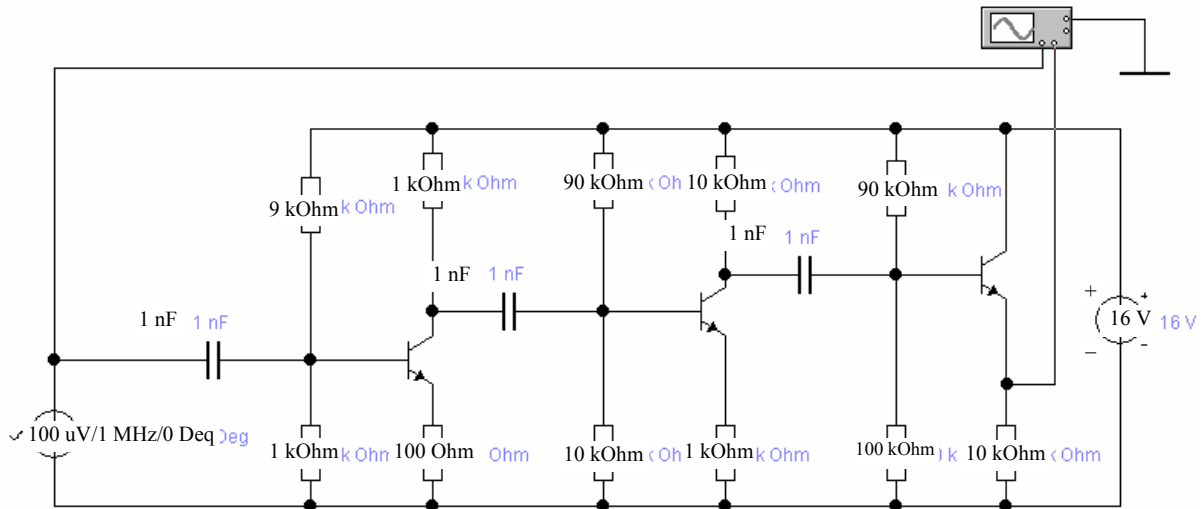
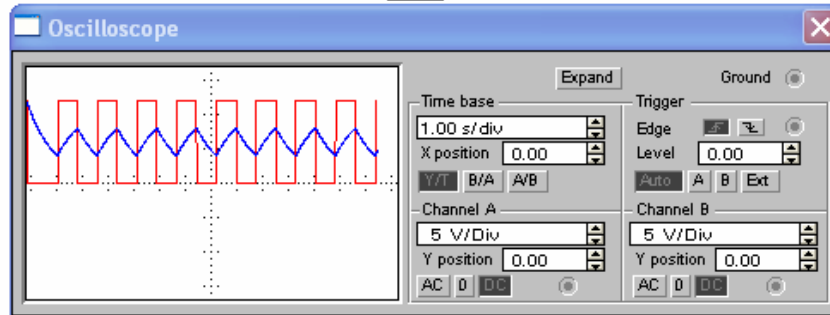
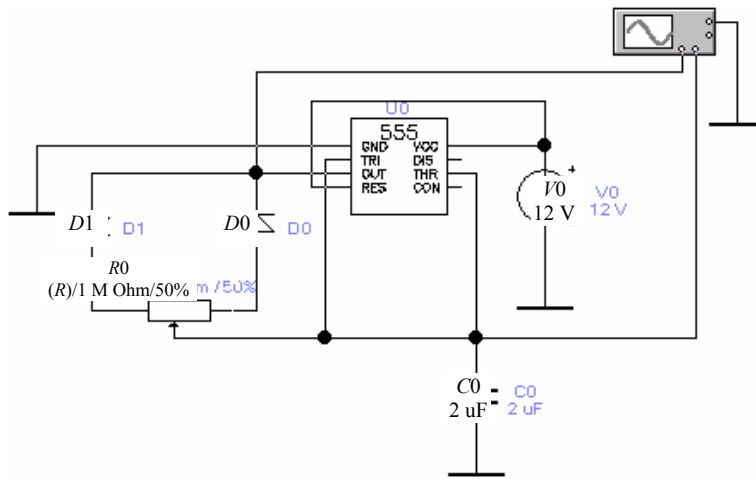
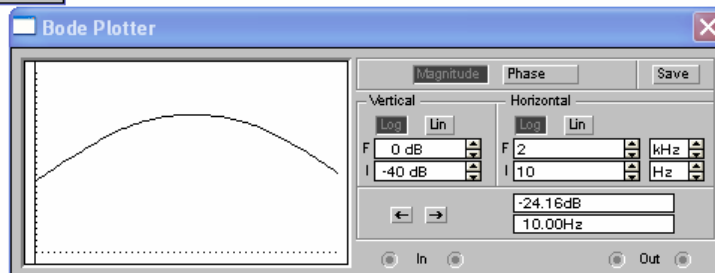
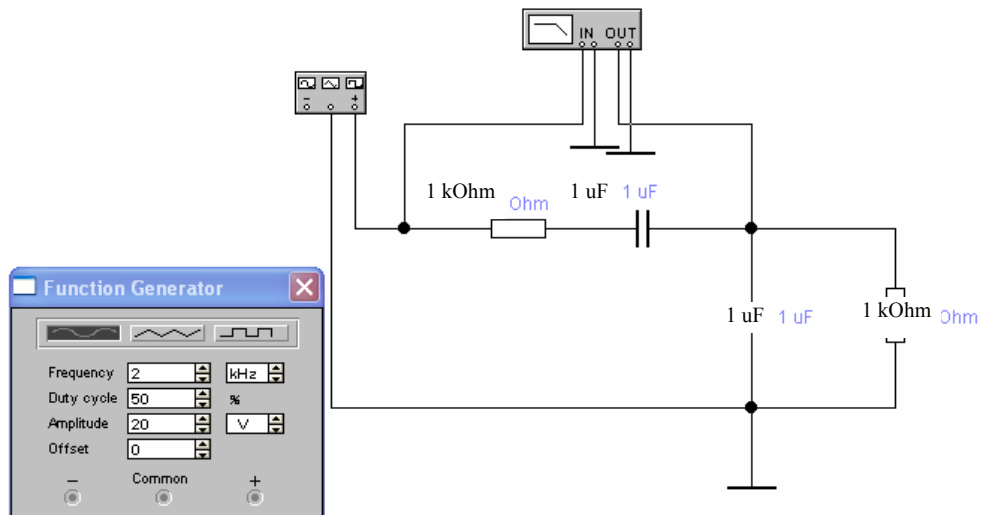


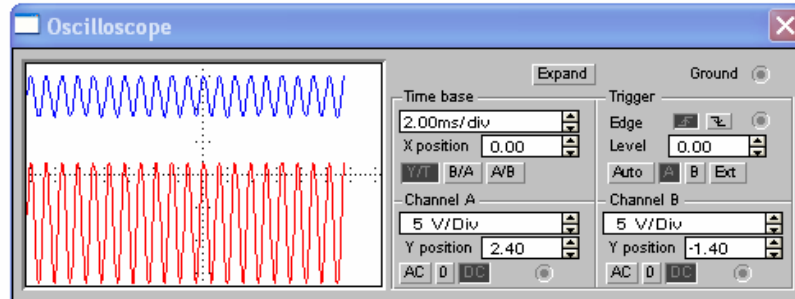
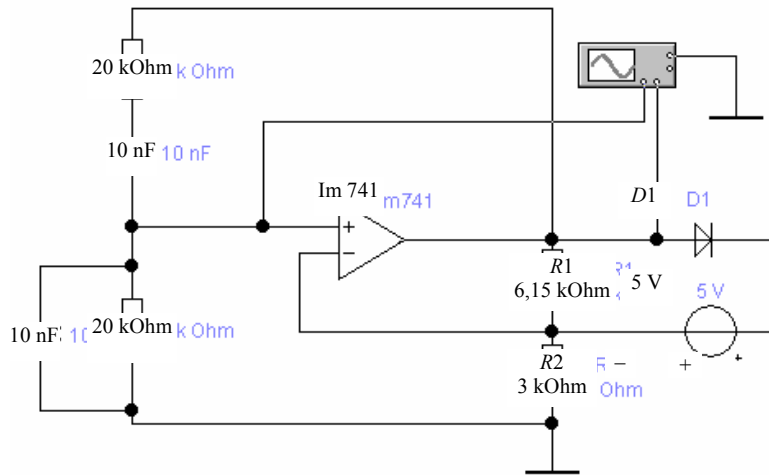
Схема 7



Cxema 8



Cxema 9



Cxema 10

