

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Политехнический институт  
Кафедра «Технологические системы пищевых, полиграфических  
и упаковочных производств»

Утверждено на заседании кафедры  
«Технологические системы пищевых,  
полиграфических и упаковочных  
производств»  
«26» января 2022 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой

  
В.В. Прейс

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**«Методы и средства исследований в полиграфических и упаковочных  
производствах»**

**основной профессиональной образовательной программы  
высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки

**29.03.03 Технология полиграфического и упаковочного производства**

с направленностью (профилем)

**Технология полиграфического производства**

Формы обучения: заочная


Идентификационный номер образовательной программы: 290303-01-22

Тула 2022 год

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ**  
**рабочей программы дисциплины (модуля)**

**Разработчик:**

Проскуряков Н.Е., профессор, докт. техн. наук, профессор  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1	Идеальный источник постоянной ЭДС (напряжения). Снятие нагрузочных характеристик с помощью амперметра и вольтметра.	44
Лабораторная работа № 2	Идеальный источник тока. Снятие нагрузочных характеристик с помощью амперметра и вольтметра.	46
Лабораторная работа № 3	Модель источника ограниченной мощности. Снятие нагрузочных характеристик.	48
Лабораторная работа № 4	Зависимые источники напряжения и тока. Снятие нагрузочных характеристик.	50
Лабораторная работа № 5	Индуктивность.	52
Лабораторная работа № 6	Емкость	55
Лабораторная работа № 7	Исследование периодических сигналов.	69
Лабораторная работа № 8	Синтез последовательности прямоугольных видеоимпульсов.	72
Лабораторная работа № 9	Исследование спектров амплитудно-модулированных сигналов.	74
Лабораторная работа № 10	Исследование спектров частотно-модулированных сигналов.	76
Лабораторная работа № 11	Измерение напряжения и силы постоянного тока участка цепи. Компьютерное моделирование.	83
Лабораторная работа № 12	Измерение напряжения и силы постоянного тока участка цепи. Натурное моделирование.	85
Лабораторная работа № 13	Измерение напряжения переменного тока участка цепи. Натурное моделирование.	92
Лабораторная работа № 14	Измерение параметров амплитудно-модулированных радиотехнических сигналов	95
Список литературы		98

## РАЗДЕЛ 1. ИЗУЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ Electronics Workbench

### 1. Цель и задачи лабораторных работ № 1 - № 6.

Изучение функционирования программы **Electronics Workbench** для приобретения навыков по исследованию электрических схем с помощью виртуальных электроизмерительных приборов.

### 2. Теоретические сведения (для лабораторных работ № 1 - № 6.).

#### Подготовка схем

Главное рабочее окно EWB представлено на рис. 1.

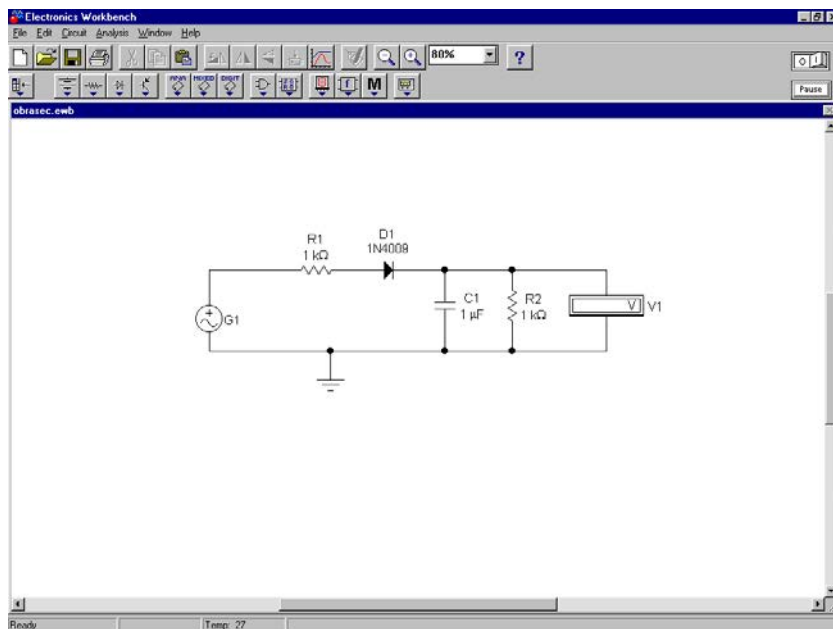


Рис.1. Главное окно EWB

Создание схем начинается с размещения на рабочем столе компонентов из библиотек программы. Прежде чем создавать чертеж принципиальной схемы средствами программы EWB, целесообразно на листе бумаги подготовить ее эскиз с примерным расположением компонентов.

Тринадцать разделов библиотек могут быть вызваны поочередно с помощью кнопок:



Рис. 2. Кнопки вызова библиотек элементов

Для этого необходимо подвести курсор к соответствующей кнопке и щелкнуть левой клавишей мыши. При этом появляется окно, в котором

изображены условные обозначения определенной группы электронных компонентов и устройств. Ниже приведено меню (рис. 3) для выбора компонентов при нажатии третьей клавиши (группа диодов):



Рис. 3. Меню группы диодов

Назначение клавиш (слева направо):

- 1) группа *Sources* – источники сигналов;
- 2) группа *Basic* – пассивные компоненты и коммутационные устройства;
- 3) группа *Diodes* – диоды;
- 4) группа *Transistors* – транзисторы;
- 5) группа *Analog ICs* – аналоговые микросхемы;
- 6) группа *Mixed Ics* – микросхемы смешанного типа;
- 7) группа *Digital Ics* – цифровые микросхемы;
- 8) группа *Logic Gates* – логические цифровые микросхемы;
- 9) группа *Digital* – цифровые микросхемы;
- 10) группа *Indicators* – индикаторные устройства;
- 11) группа *Controls* – аналоговые вычислительные устройства;
- 12) группа *Miscellaneous* – компоненты смешанного типа;
- 13) группа *Instruments* – контрольно-измерительная аппаратура.

В качестве примера рассмотрим этапы создания схемы, приведенной на рис. 1 (далее этапы создания схемы выделены курсивом).

Для этого откроем меню соответствующих групп необходимых компонентов, а именно: группы *Sources* – источники сигналов (1 кнопка), группы *Basic* – пассивные компоненты и коммутационные устройства (кнопка 2), группы *Diodes* – диоды (кнопка 3) и группы *Indicators* – индикаторные устройства (кнопка 10).

Необходимый для создания схемы значок (символ) компонента переносится из меню на рабочее поле движением мыши при нажатой левой кнопке, после чего кнопка отпускается. При этом символ фиксируется на рабочем поле. После выбора необходимых компонентов меню можно закрыть (рис.4).

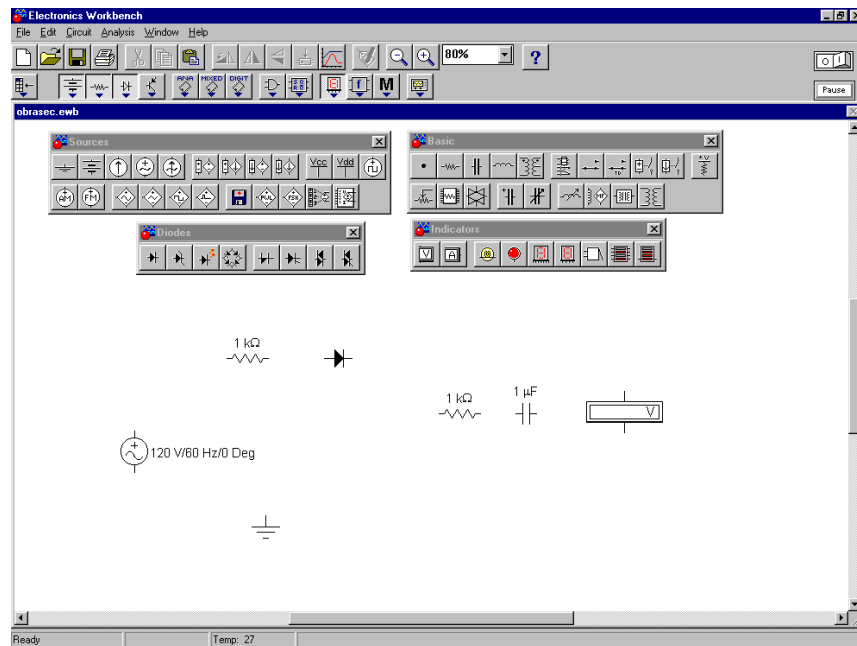


Рис. 4. Первый этап создания схемы

При размещении компонентов схемы на рабочем поле программы EWB можно воспользоваться динамическим меню. Для этого необходимо щелкнуть левой клавишей мыши на свободном поле. При этом на экране появится меню, показанное на рис. 5.

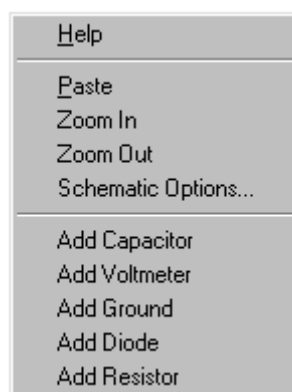
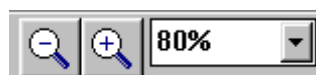


Рис. 5. Динамическое меню

В этом меню имеются следующие опции:

- *Paste* – вставка содержимого буфера обмена на рабочее поле;
- *Zoom In, Zoom Out* – увеличение или уменьшение изображения. Эти опции продублированы в меню *Circuit* и кнопками в верхнем ряду панели инструментов



- *Add* [название компонента] – добавление на рабочее поле указанных компонентов. Количество таких команд в списке меню определяется количеством типов компонентов, имеющихся на рабочем поле. При выборе,

например, команды *Add Capacitor* на рабочем поле появляется копия конденсатора, уже присутствовавшего на поле.

Выбор опции *Schematic Option* приводит к появлению окна Schematic Option:



Рис. 6. Закладка Grid Меню Schematic Option (задание элементов оформления схем)

С помощью этого окна выбираются элементы оформления **для всей схемы**. На закладке Grid окна Schematic Option:

- *Show grid* – показывать сетку для удобства рисования схемы (по умолчанию эта опция выключена, остальные включены); опция активна только при включенной опции *Use grid* – использовать сетку.

На закладке *Show/Hide* (рис. 7):

- *Show labels* – показывать позиционные обозначения компонентов, например, C1, C2 для конденсаторов;
- *Show models* – показывать имена моделей компонентов, например, типов транзисторов (КТ605 и т. п.);
- *Show values* – показывать номиналы компонентов, например, сопротивления резисторов;
- *Show nodes* – показывать номера узловых точек схемы, как показано на рис. 8 (используемое в дальнейшем при выполнении команд меню Analysis);

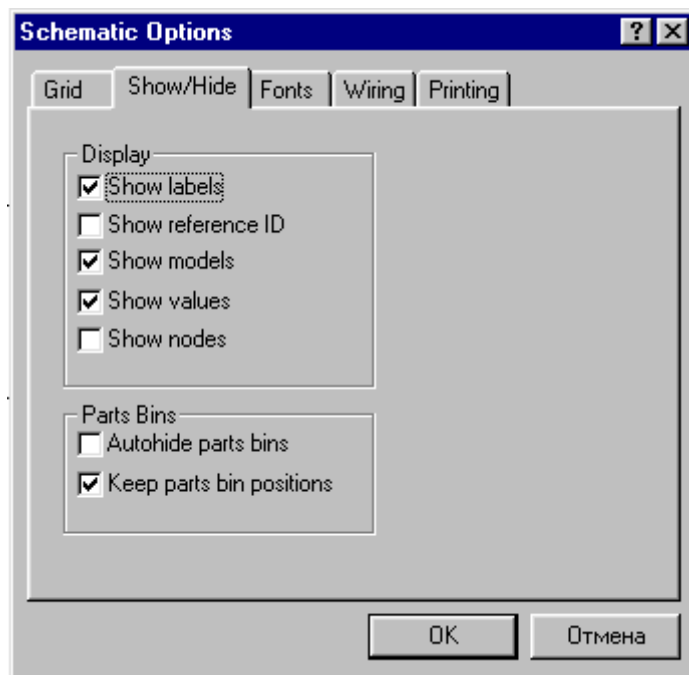


Рис. 7. Закладка Show/Hide меню Schematic Option

- *Show Reference ID* – показывать позиционное обозначение компонента (используемое в дальнейшем при выполнении команд меню Analysis);
- *Autohide part bins* – по умолчанию не показывать состав библиотеки компонентов, используемой в данной схеме;
- *Keep parts bin positions* – сохранять положение используемой библиотеки компонентов на экране при оформлении схемы; обычно выбор новой библиотеки компонентов приводит к выключению предыдущей; для сохранения на экране сразу нескольких библиотек их необходимо разнести по экрану, при этом их положение при выборе новой библиотеки останется неизменным.

При выборе закладки *Fonts* (рис. 9) можно установить тип (*Font name*) и размер (*Font size*) шрифта отдельно для обозначения компонента (кнопка *Set label font*) и номинального значения его параметра (кнопка *Set value font*).

Закладка *Wiring* приведена на рис. 10 и предназначена для определения режима прокладки на схеме проводников.

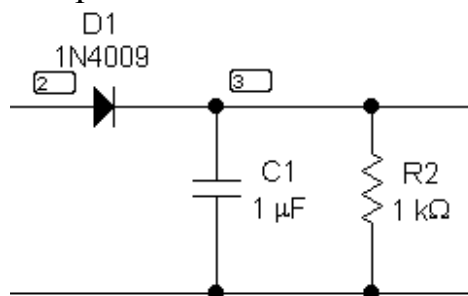
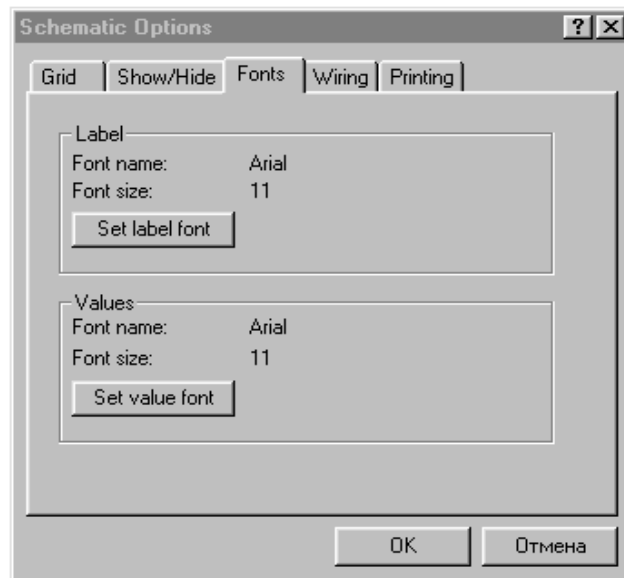


Рис. 8. Фрагмент принципиальной схемы с обозначенными узловыми точками 2 и 3

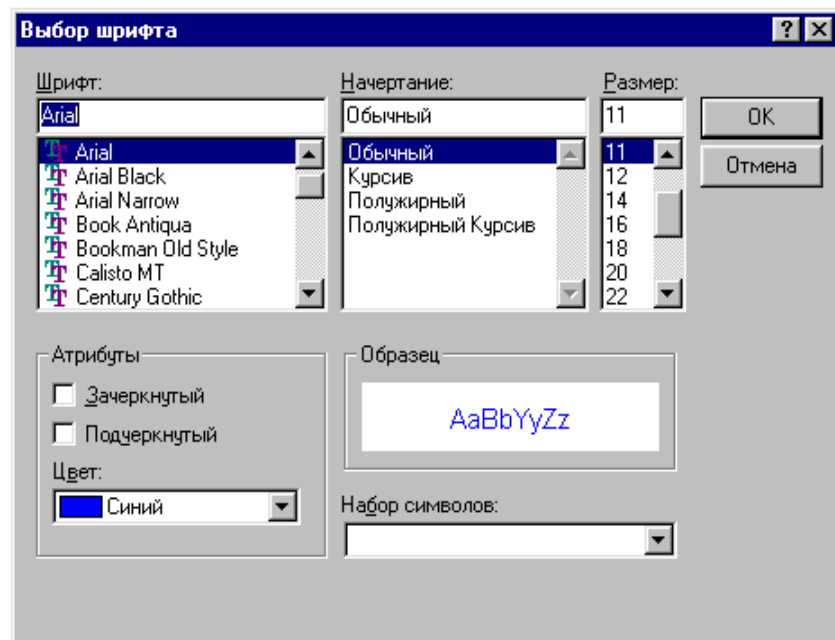


На закладке *Wiring*:

- *manual-route wires* – ручная прокладка проводников (можно провести проводник по любой желаемой траектории);
- *auto-route wires* – автоматическая прокладка проводников (указывается начальная точка и линия курсором тащится к желаемой точке соединения);
- *drag to connect* – автоматическое появление точки соединения при пересечении двух проводников во время их прокладки;



а).



б).

Рис. 9. Закладка Fonts (а) и окно выбора шрифта (б)

- *Rewiring options* – команды, связанные с удалением проводников;
- *Auto-delete connectors* – автоматическое удаление неиспользуемых соединений, например, дублирующих друг друга.

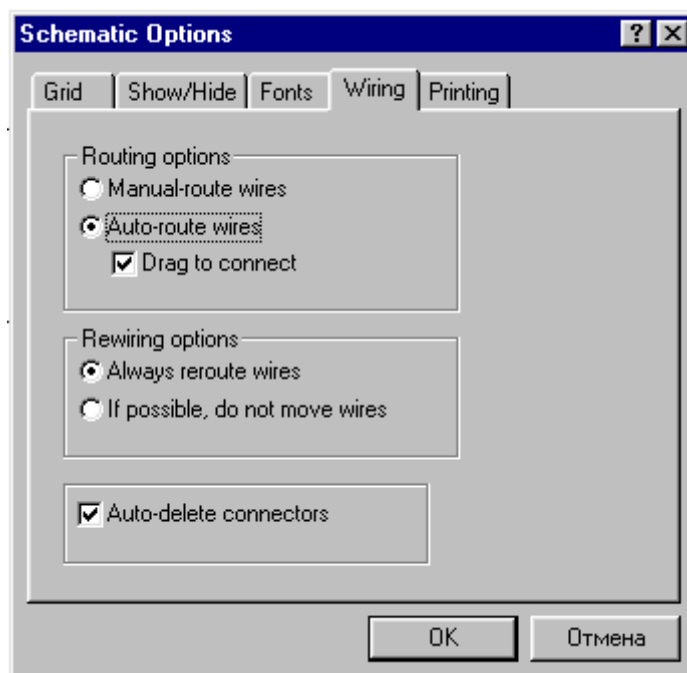


Рис. 10. Закладка Wiring для определения режима прокладки на схеме проводников

Закладка *Printing* используется для задания масштаба выводимой на печать схемы (рис. 11), здесь же можно задать показ разбивки на страницы выводимой схемы и ее описания.

Опция *Schematic Option* продублирована строкой в меню *Circuit*.

Для задания параметров и формы представления каждого компонента схемы используются следующие приемы.

Если по изображению элемента щелкнуть левой клавишей мыши, на экране появится меню (рис. 12), с помощью которого можно провести ряд операций:

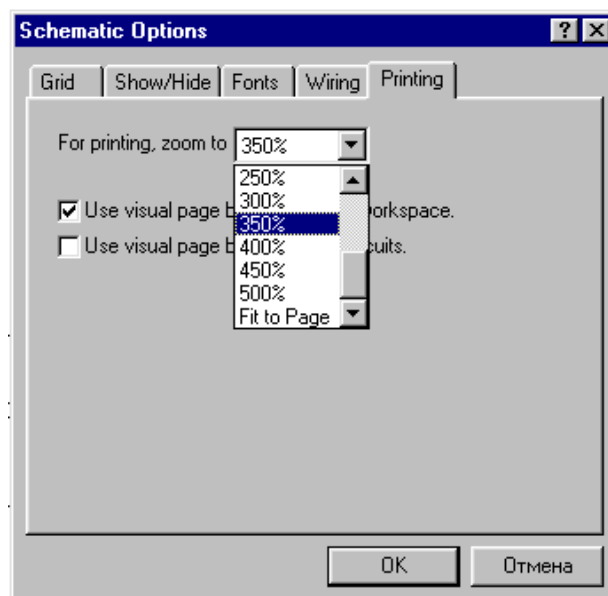


Рис. 11. Закладка Printing для задания масштаба выводимой на печать схемы

– *Cut* – вырезание указанной части схемы с сохранением ее в буфере обмена. Выделение одного компонента производится щелчком мыши на изображении компонента. Для выделения части схемы или нескольких компонентов необходимо поставить курсор мыши в левый угол воображаемого прямоугольника, охватывающего выделяемую часть, нажать левую кнопку мыши и, не отпуская ее, протянуть курсор по диагонали этого прямоугольника, контуры которого появляются уже в начале движения мыши, и затем отпустить кнопку. Выделенные компоненты окрашиваются в красный цвет;

– *Copy* – копирование выделенной части схемы в буфер обмена;

– *Delete* – стирание элемента или выделенной части схемы;

– *Rotate* – вращение выделенного компонента; большинство компонентов поворачиваются против часовой стрелки на  $90^\circ$  при каждом выполнении команды, для измерительных приборов (амперметр, вольтметр и др.) меняются местами клеммы подключения;

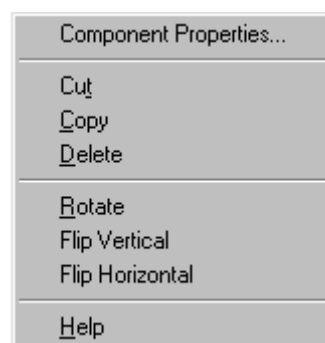


Рис.12. Меню работы с выбранным компонентом схемы

- *Flip Vertical* – зеркальное отображение компонента по вертикали;
- *Flip Horizontal* – зеркальное отображение компонента по горизонтали.

Три последние команды дублируются кнопками



в верхнем ряду панели инструментов главного окна, а также в меню *Circuit*.

Используя команду *Rotate*, можно повернуть в вертикальное положение резистор и конденсатор для получения желаемой схемы (рис. 1).

*Component Properties* – свойства компонента. Эта команда выполняется также после двойного щелчка левой клавишей мыши по компоненту или нажатия



кнопки в верхнем ряду панели инструментов.

Команда продублирована и в меню *Circuit*.

При выполнении команды открывается диалоговое окно с несколькими вкладками, предназначенное для задания параметров компонентов. Закладки несколько различаются для разных компонентов.

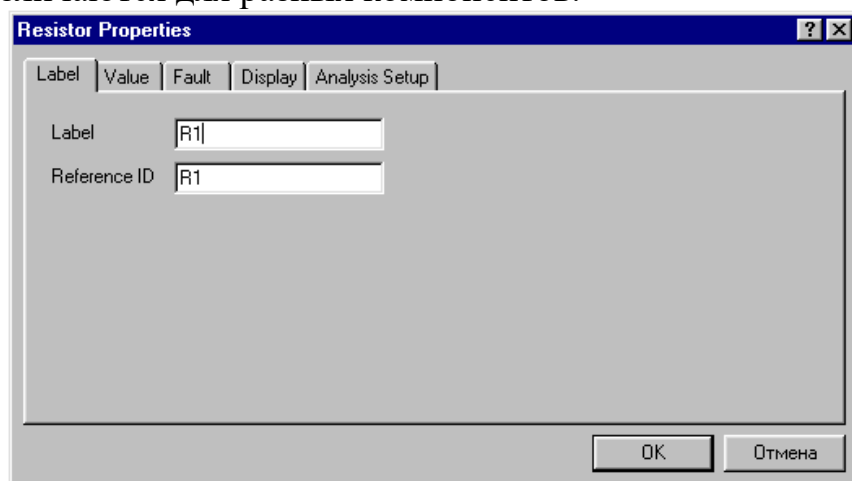


Рис. 13а. Закладка Label (метка) диалогового окна задания параметров резисторов

В верхнем поле *Label* задается условное обозначение компонента, которое будет присутствовать на схеме. В поле *Reference ID* указывается позиционное обозначение компонента, используемое в дальнейшем при выполнении команд меню *Analysis*.

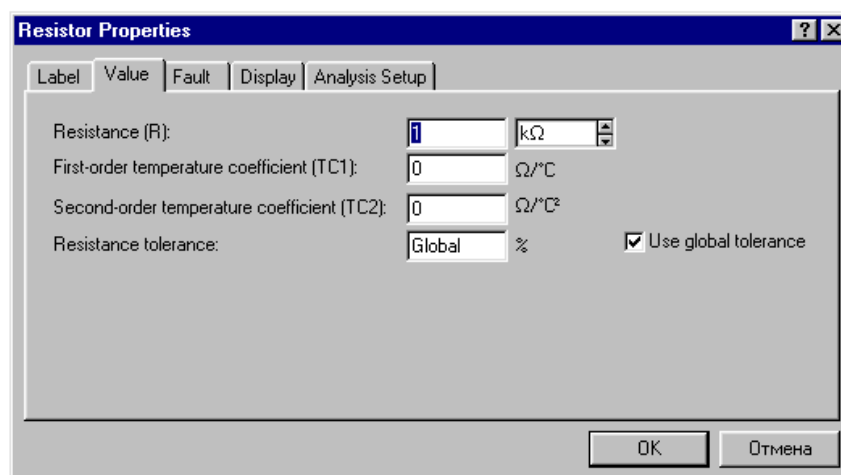


Рис. 13б. Закладка Value (величина) диалогового окна задания параметров резисторов

При выборе закладки *Value* (рис. 13б) задаются номинальное сопротивление компонента (резистора), значение линейного (TC1) и квадратичного (TC2) температурных коэффициентов сопротивления. С учетом этих параметров действительное значение резистора  $R_t$  будет определяться выражением:

$$R_t = R_0 \cdot [1 + TC1 \cdot (T - T_n) + TC2 \cdot (T - T_n)^2],$$

где  $R_0$  – номинальное сопротивление резистора;

$T_n = 27^\circ\text{C}$  – номинальная температура;

$T$  – текущее значение температуры резистора.

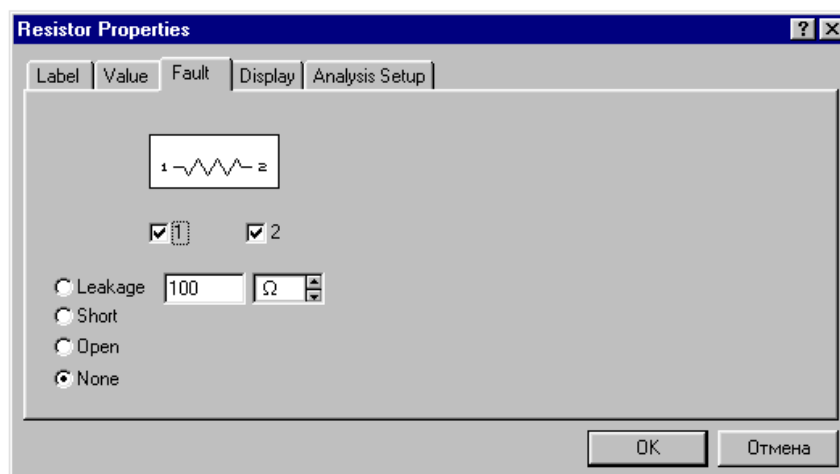


Рис. 13в. Закладка Fault (неисправность) задания параметров резисторов

При выборе закладки *Fault* (рис. 13в) приводятся условия моделирования и набор возможных неисправностей. Например, если требуется имитировать нарушение контакта вывода 1 резистора, то в этом случае включаются опции 1 и *Open* (открыто — обрыв). Другие опции означают:

– *Leakage* – утечка (в соседнем поле можно задать сопротивление утечки);

- *Short* – короткое замыкание;
- *None* – неисправности отсутствуют.

При выборе закладки *Display* (рис. 13г) задается характер вывода на экран обозначений компонента. При выборе опции *Use Schematic Options global setting* используются установки, принятые для всей схемы (описание опции *Schematic Option* приведено выше), в противном случае используется индивидуальная настройка вывода на экран условного обозначения (*Show labels*), номинального значения (*Show values*) и позиционного обозначения (*Show reference ID*) для каждого компонента.

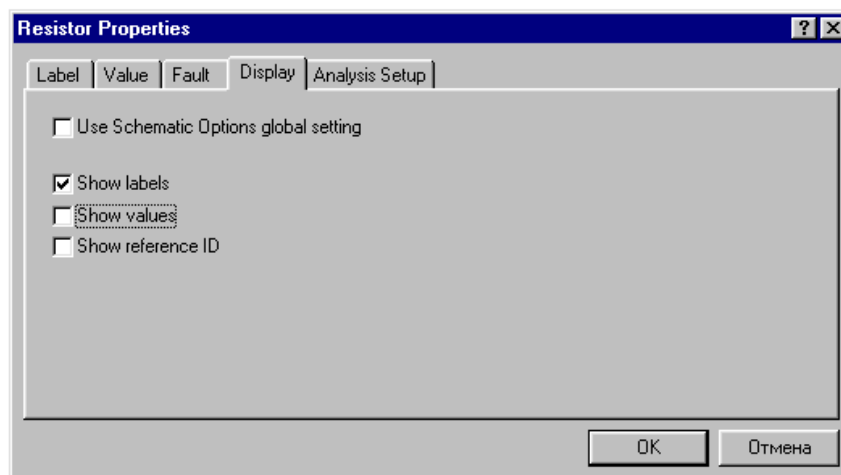


Рис. 13г. Закладка Display (показ) задания параметров резисторов

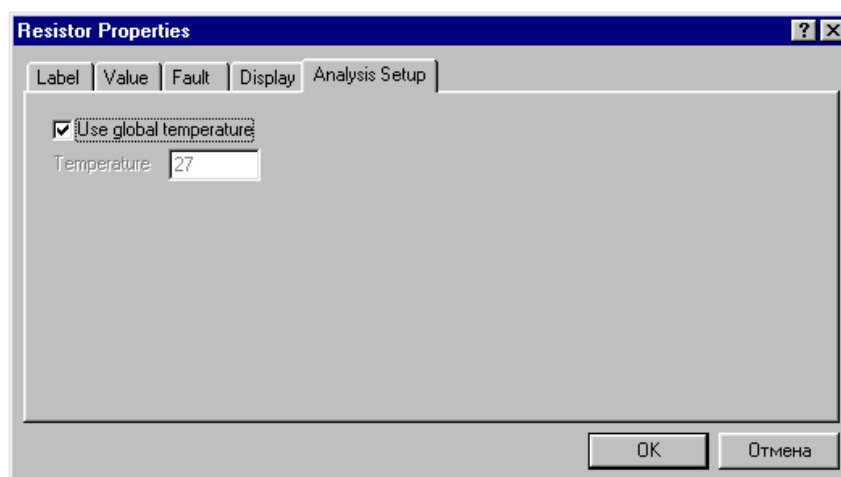


Рис. 13д. Закладка Analysis Setup (настройки для анализа) задания параметров резисторов

При выборе закладки *Analysis Setup* (рис. 13д) устанавливается температура для каждого компонента индивидуально или используется ее номинальное значение, принятое для всей схемы (*Use global temperature*).

Для активных компонентов появляется еще одна закладка – *Models* (рис. 13е), с помощью которой выбирается библиотека компонентов (*Library*),

конкретный тип компонента (*Model*). При желании параметры выбранного компонента могут быть изменены (в режиме *Edit*), компонент может быть переименован (*Rename*). В режиме *New Library* может быть создана новая библиотека компонентов.

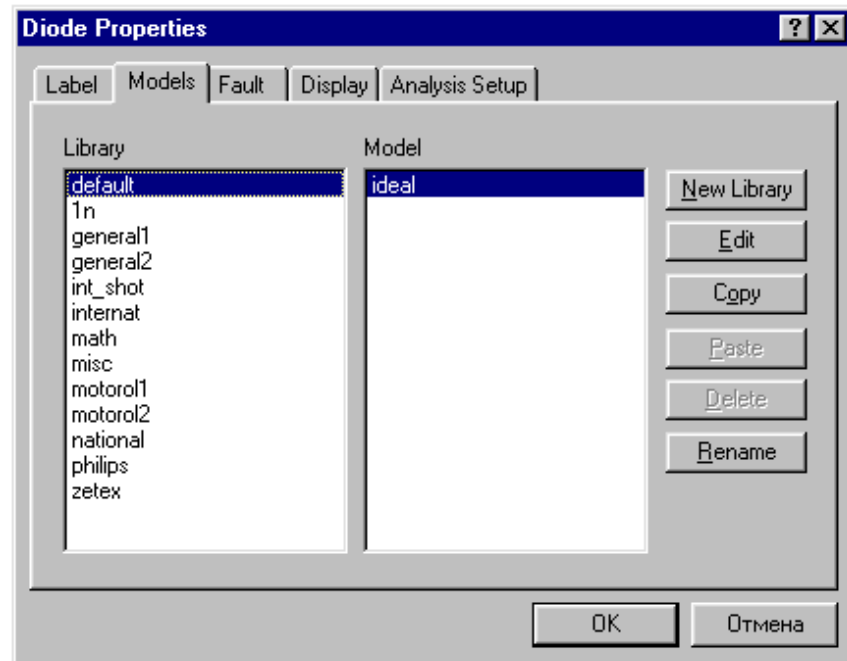


Рис. 13е. Закладка Models (выбор модели) задания параметров активных компонентов

С помощью описанных операций можно задать желаемые значения параметров и обозначения всех компонентов, используемых для создания схемы. В результате на экране получим изображение всех используемых для создания схемы компонентов с желаемыми обозначениями (с заданным типом шрифта, размерами и цветом) и параметрами (рис. 14).

После размещения и задания параметров компонентов производится соединение их выводов проводниками.

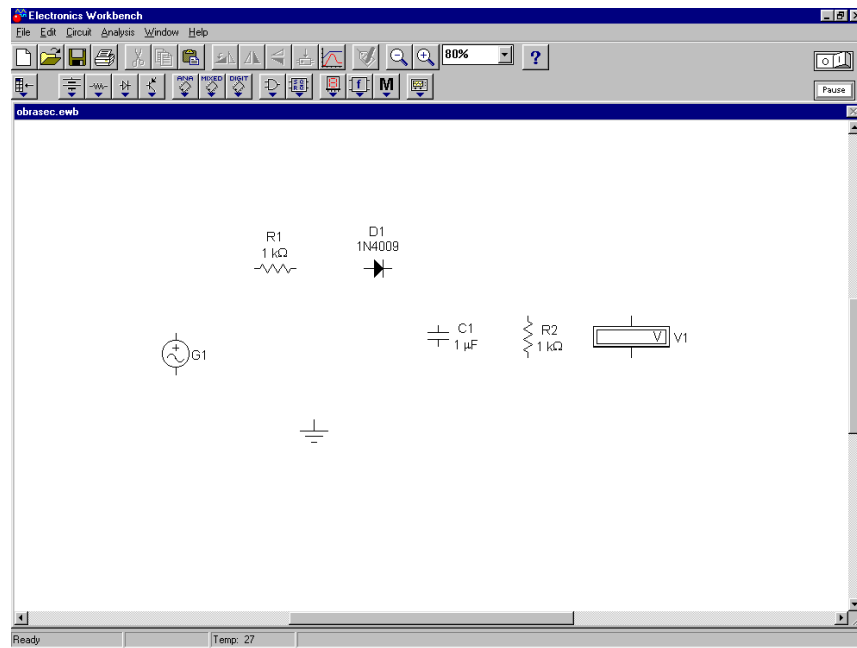


Рис. 14. Второй этап создания схемы

При этом необходимо учитывать, что к выводу компонента можно подключить только один проводник. Для выполнения подключения курсор мыши подводится к выводу компонента и после появлении большой точки нажимается левая кнопка. Появляющийся при этом проводник протягивается к выводу другого компонента до появления на нем такой же большой точки, после чего кнопка мыши отпускается и соединение готово. При необходимости подключения к этим выводам других проводников в библиотеке *Basic* выбирается точка (символ соединения) и переносится на ранее установленный проводник. Чтобы точка почернела (первоначально она имеет красный цвет), необходимо щелкнуть мышью по свободному месту рабочего поля. Если эта точка действительно имеет электрическое соединение с проводником, то она полностью окрашивается черным цветом. Если на ней виден след от пересекающего проводника, то электрического соединения нет и точку необходимо установить заново. После удачной установки к точке соединения можно подключить еще два проводника. Если соединение нужно разорвать, курсор подводится к одному из выводов компонентов или точке соединения и при появлении большой точки нажимается левая кнопка, проводник отводится на свободное место рабочего поля, после чего кнопка отпускается. Если необходимо подключить вывод к имеющемуся на схеме проводнику, то проводник от вывода компонента курсором подводится к указанному проводнику и после появления точки соединения кнопка мыши отпускается. Следует отметить, что прокладка соединительных проводников производится автоматически, причем препятствия – компоненты и другие проводники – огибаются по ортогональным направлениям (по горизонтали или вертикали), или вручную (выбор способа описан выше – рис. 10, закладка *Wiring* для определения режима прокладки на схеме проводников).



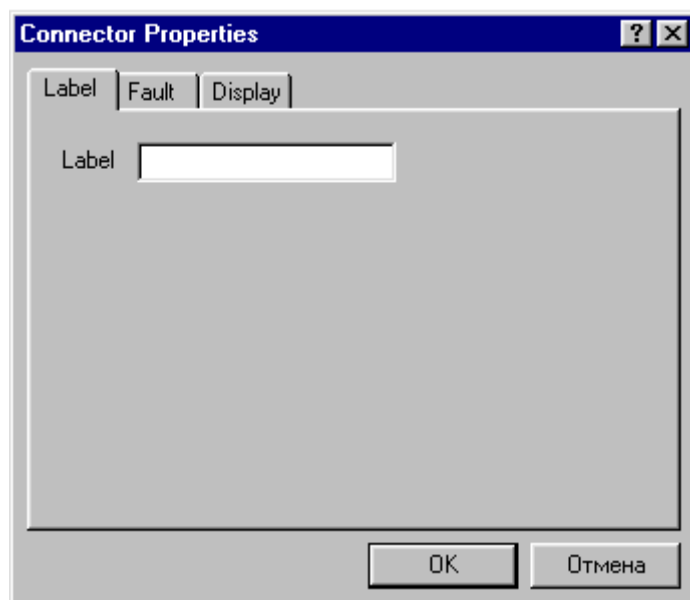
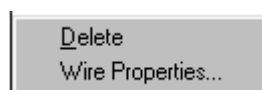


Рис. 15. Окно для задания обозначения и свойств точки соединения

Точка соединения может быть использована не только для подключения проводников, но и для введения надписей (например, указания величины тока в проводнике, его функционального назначения и т. п.). Для этого необходимо дважды щелкнуть по точке и в раскрывшемся окне (рис. 15) ввести необходимую запись (не более 14 символов), причем запись можно смещать вправо путем введения слева нужного количества пробелов. Это свойство может быть использовано и в том случае, когда позиционное обозначение компонента (например, C1, R10) накладывается на рядом проходящий проводник или другие элементы схемы.

Если необходимо переместить отдельный сегмент проводника, то к нему подводится курсор, нажимается левая кнопка и после появления в вертикальной или горизонтальной плоскости двойного курсора производятся нужные перемещения.

Двойным щелчком левой клавишей мыши по проводнику (или одиночным щелчком правой клавиши через меню)



можно вызвать окно *Wire Properties* (рис. 16) для редактирования вида проводников.

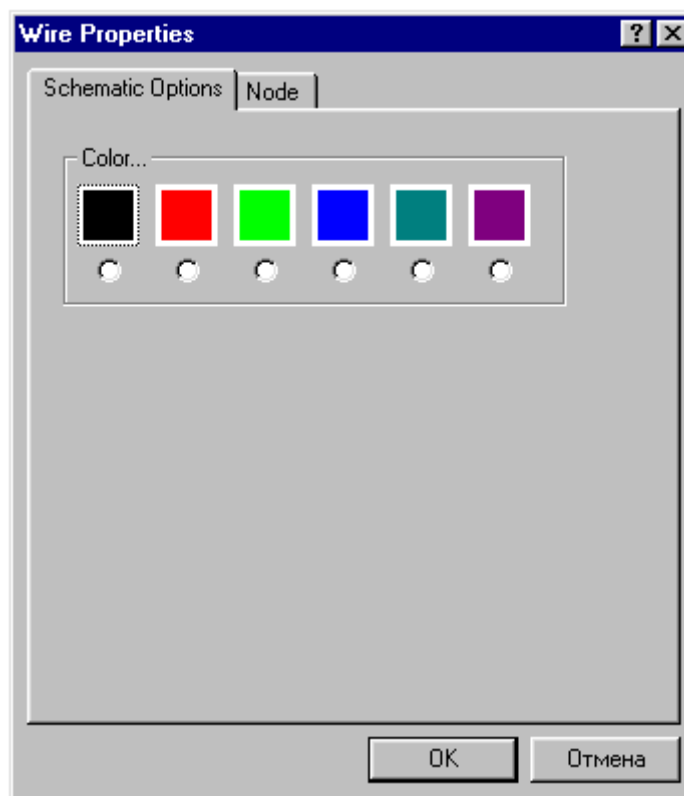


Рис. 16. Окно редактирования вида проводников и параметров узловых точек

Первая закладка позволяет выбрать цвет проводников, вторая предназначена для редактирования параметров узловых точек схемы.

Цветными проводниками целесообразно проводить соединения с приборами (осциллографом, логическим анализатором и т. п.), поскольку цвет проводников определяет цвет соответствующей осциллограммы. Цветные проводники целесообразны не только для обозначения проводников одинакового функционального назначения, но и для проводников, находящихся в разных частях схемы (например, проводники шины данных до и после буферного элемента).

*Используя описанную методику, необходимо соединить все компоненты, представленные на рис. 14. В результате получим готовую схему (рис. 1).*

### Контрольно–измерительные приборы

Простейшие измерительные приборы (вольтметр и амперметр) находятся в группе *Indicators* – индикаторные устройства. При нажатии кнопки



появляется меню *Indicators* (рис. 17), две первые кнопки которого позволяют получить на рабочем поле вольтметр и амперметр соответственно.



Рис. 17. Меню выбора элементов индикации

Число приборов, которые могут быть помещены на рабочее поле, практически не ограничено. Если по изображению элемента щелкнуть правой клавишей мыши, на экране появится меню (рис. 12), с помощью которого можно провести ряд операций, описанных в разделе «Подготовка схем». Команда *Component Properties* (свойства компонента) выполняется также после двойного щелчка левой клавишей мыши по компоненту или нажатия кнопки в верхнем ряду панели инструментов:

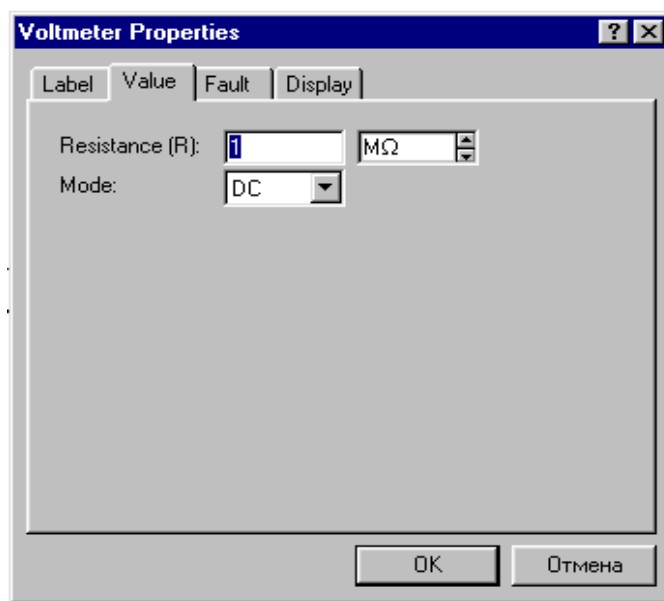


Команда продублирована и в меню *Circuit*.

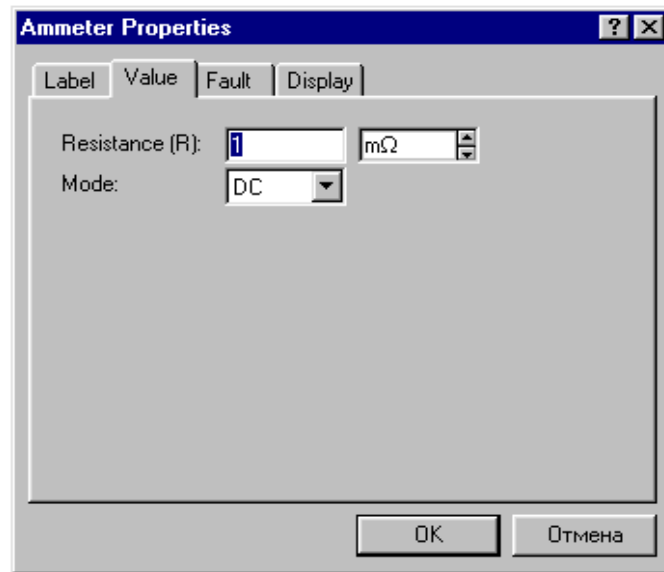
При выполнении команды открывается диалоговое окно с несколькими вкладками, предназначенное для задания параметров компонентов (рис. 18а для вольтметра и рис. 18б для амперметра). На этих вкладках в строке *Resistance* необходимо установить внутреннее сопротивление вольтметра (должно быть большое) и амперметра (должно быть малым). В строке *Mode* выбирается тип измеряемого напряжения (тока):

- *DC* – постоянное напряжение (ток);
- *AC* – переменное напряжение (ток).

Остальные настройки приборов рассмотрены в предыдущем разделе (рис. 13).



а)



б)

Рис. 18. Окно для настройки вольтметра (а) и амперметра (б)

Более сложные контрольно–измерительные приборы находятся в группе *Instruments* – контрольно–измерительная аппаратура. При нажатии кнопки



появляется меню *Instruments* (рис. 19), кнопки которого позволяют получить на рабочем поле мультиметр, генератор сигналов, осциллограф, измеритель амплитудно–частотных и фазо–частотных характеристик (плоттер), генератор двоичных слов (кодовый генератор), 8–канальный логический анализатор и логический преобразователь соответственно. Одновременно на рабочем поле может присутствовать лишь по одному прибору каждого вида.

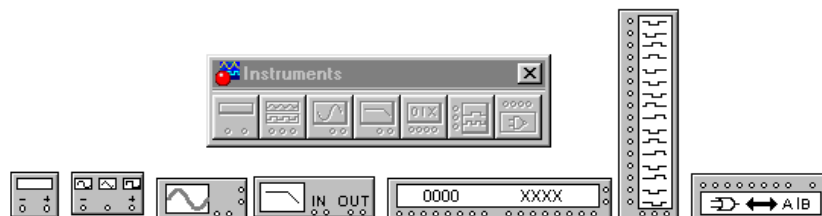


Рис. 19. Меню выбора контрольно–измерительной аппаратуры и ее обозначение на рабочем поле

При построении схем иконка прибора курсором переносится на рабочее поле и подключается проводниками к исследуемой схеме. Для приведения прибора в рабочее (развернутое) состояние необходимо дважды щелкнуть

курсором по его иконке. Появляется изображение передней панели прибора (на рис. 20 – передняя панель мультиметра).



Рис. 20. Передняя панель мультиметра

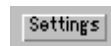
**Мультиметр.** На передней панели мультиметра (рис. 20) расположен дисплей для отображения результатов измерения, клеммы («-» и «+») для подключения к схеме и кнопки управления:



– выбор режима измерения тока, напряжения, сопротивления и ослабления (затухания);



– выбор режима измерения переменного или постоянного тока;



– режим установки параметров мультиметра.

После нажатия на эту кнопку открывается диалоговое окно (рис. 21), на котором обозначено:

- *Ammeter resistance* – внутреннее сопротивление амперметра;
- *Voltmeter resistance* – входное сопротивление вольтметра;
- *Ohmmeter current* – диапазон измеряемого тока;
- *Decibel standard* – установка эталонного напряжения  $V_1$  при измерении ослабления или усиления в децибелах (по умолчанию  $V_1=1$  В). При этом для коэффициента передачи используется формула:

$K[\text{дБ}] = 20 \log(V_2/V_1)$ , где  $V_2$  — напряжение в контролируемой точке.

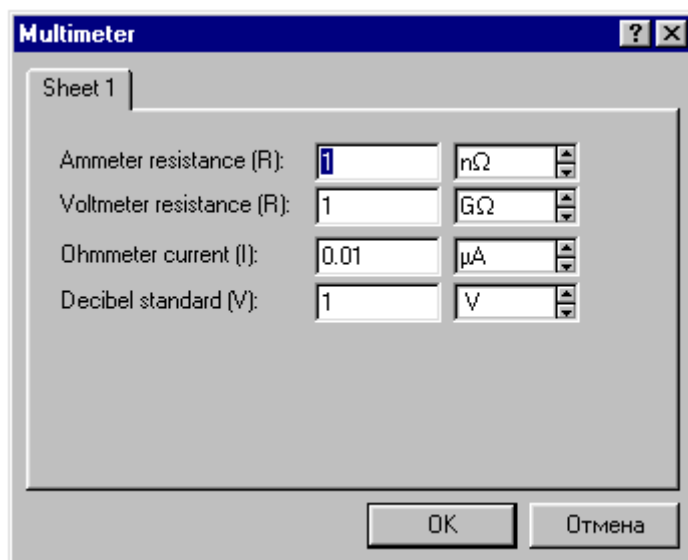


Рис. 21. Окно настройки параметров мультиметра.

**Генератор.** Передняя панель генератора показана на рис. 22. Управление генератором осуществляется следующими органами управления:



- выбор формы выходного сигнала (синусоидальной, треугольной или прямоугольной формы);
- *frequency* – установка частоты выходного сигнала;
- *duty cycle* – установка коэффициента заполнения в %. Для импульсных сигналов это отношение длительности импульса к периоду повторения (величина, обратная скважности), для треугольных сигналов – соотношение между длительностями переднего и заднего фронта;
- *amplitude* – установка амплитуды выходного сигнала;
- *offset* – установка смещения (постоянной составляющей) выходного сигнала;



- выходные зажимы. При заземлении клеммы COM (общий) на клеммах «–» и «+» получаем парафазный сигнал.

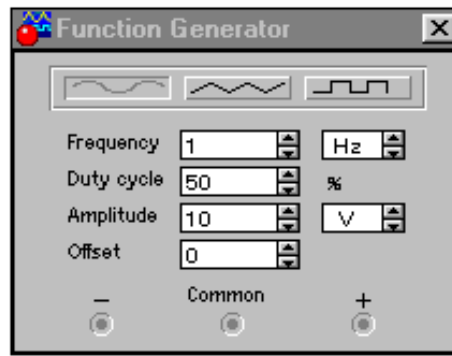


Рис. 22. Передняя панель генератора

**Осциллограф.** Передняя панель осциллографа показана на рис. 23.

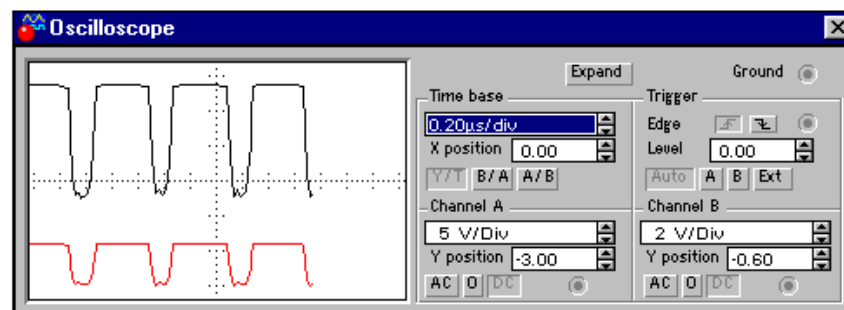


Рис. 23. Передняя панель осциллографа

Осциллограф имеет два канала *Channel A* и *B* с отдельной регулировкой чувствительности в диапазоне от 10 мкВ/дел ( $mV/Div$ ) до 5 кВ/дел ( $kV/Div$ ) и регулировкой смещения по вертикали (*Y POS*).

Выбор режима по входу осуществляется нажатием кнопок



Режим *AC* предназначен для наблюдения только сигналов переменного тока (его еще называют режимом "закрытого входа", поскольку в этом режиме на входе усилителя включается разделительный конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую). В режиме *0* входной зажим замыкается на землю. В режиме *DC* (включен по умолчанию) можно проводить осциллографические измерения как постоянного, так и переменного тока. Этот режим еще называют режимом "открытого входа", поскольку входной сигнал поступает на вход вертикального усилителя непосредственно. С правой стороны от кнопки *DC* расположен входной зажим.

Режимы развертки:

– режим *Y/T* (обычный режим, включен по умолчанию) – по вертикали индицируется напряжение сигнала, по горизонтали – время;

- режим *B/A* – по вертикали индицируется сигнал канала В, по горизонтали – сигнал канала А;
- режим *A/B* – по вертикали индицируется сигнал канала А, по горизонтали – сигнал канала В.

В режиме развертки *Y/T* длительность развертки (*TIME BASE*) может быть задана в диапазоне от 0,1 нс/дел (*ns/div*) до 1 с/дел (*s/div*) с возможностью установки смещения в тех же единицах по горизонтали, т.е. по оси X (*X POS*). В режиме *Y/T* предусмотрен также ждущий режим (*TRIGGER*) с запуском развертки (*EDGE*) по переднему или заднему фронту запускающего сигнала – выбирается нажатием кнопок



при регулируемом уровне (*LEVEL*) запуска, а также в режиме *AUTO* (от канала А или В), от канала А, от канала В или от внешнего источника (*EXT*), подключаемого к зажиму в блоке управления *TRIGGER*. Названные режимы запуска развертки выбираются кнопками

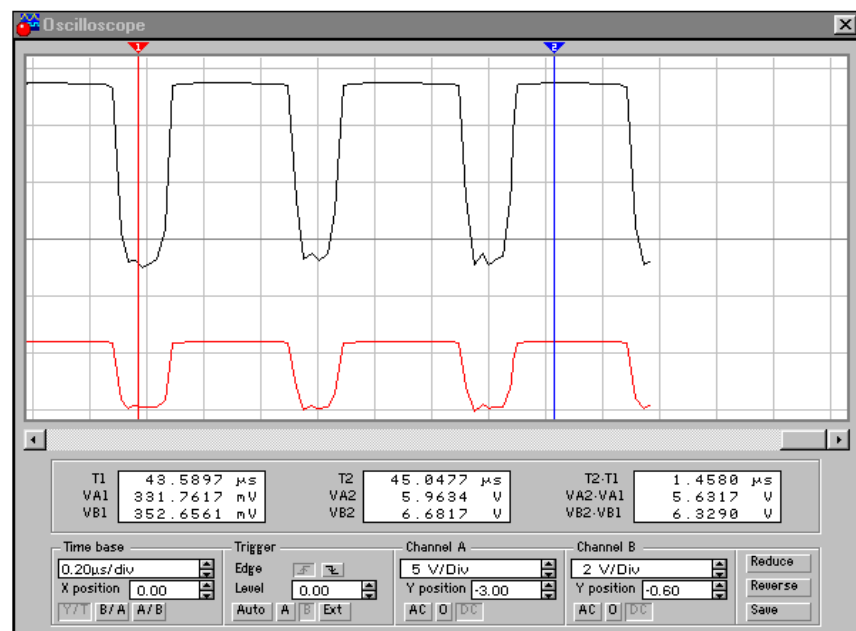


Рис. 24. Развернутая передняя панель осциллографа

Заземление осциллографа осуществляется с помощью клеммы *GROUND* в правом верхнем углу прибора. При нажатии на кнопку *Expand* передняя панель осциллографа существенно меняется (см. рис. 24) – увеличивается размер экрана, появляется возможность прокрутки изображения по горизонтали и его сканирования с помощью вертикальных визирных линий (синего и красного цвета), которые за треугольные ушки (они обозначены



также цифрами 1 и 2) могут быть курсором установлены в любое место экрана. При этом в индикаторных окошках под экраном появятся результаты измерения напряжения, временных интервалов и их приращений (между визирными линиями). Изображение можно инвертировать нажатием кнопки *REVERSE* и записать данные в файл нажатием кнопки *SAVE*. Возврат к исходному состоянию осциллографа происходит при нажатии кнопки *REDUCE*.

**Измеритель АЧХ и ФЧХ.** Передняя панель измерителя АЧХ-ФЧХ показана рис. 25.

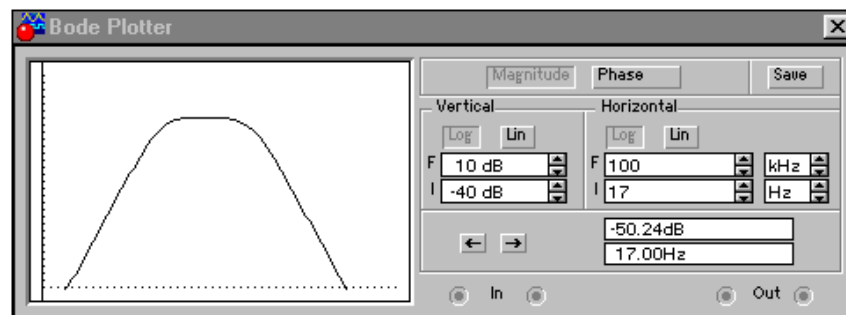


Рис. 25. Передняя панель измерителя АЧХ и АФХ

Измеритель предназначен для анализа амплитудно-частотных (при нажатой кнопке *MAGNITUDE*, включена по умолчанию) и фазо-частотных (при нажатой кнопке *PHASE*) характеристик при логарифмической (кнопка *LOG* включена по умолчанию) или линейной (кнопка *LIN*) шкале по осям Y (VERTICAL) и X (HORIZONTAL). Настройка измерителя заключается в выборе пределов измерения коэффициента передачи и вариации частоты с помощью кнопок в окошках *F* – максимальное и *I* – минимальное значение. Значение частоты и соответствующее ей значение коэффициента передачи или фазы индицируется в окошках в правом нижнем углу измерителя.

Подключение прибора к исследуемой схеме осуществляется с помощью зажимов *IN* (вход) и *OUT* (выход). Левые клеммы зажимов подключаются соответственно к входу и выходу исследуемого устройства, а правые – к общей шине.

Другие приборы будут рассмотрены при их непосредственном использовании в лабораторных работах.

## Моделирование электронных схем

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

- выбора элементов и приборов из библиотек;
- перемещения элементов и схем в любое место рабочего поля;

- поворота элементов и групп элементов на углы, кратные 90 градусам;
- копирования, вставок или удаления элементов, групп элементов, фрагментов схем и целых схем;
- изменения цвета проводников;
- выделения цветом контуров схем для более удобного восприятия;
- одновременного подключения нескольких измерительных приборов и наблюдения их показаний на экране монитора;
- присваивания элементам условного обозначения;
- изменения 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.

Можно вставить схему или её фрагмент в текстовый редактор и напечатать в нем пояснения или замечания по работе схемы.

Программа EWB позволяет провести моделирование работы собранной схемы. Для этого необходимо воспользоваться меню *Analysis*:

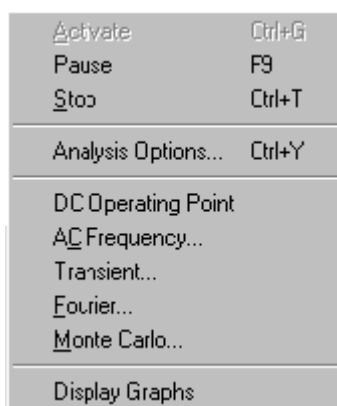


Рис. 26. Окно меню *Analysis*

Обозначения приведенные на рис. 26:

- *Activate* – запуск моделирования;
- *Stop* – остановка моделирования;
- *Pause* – прерывание моделирования.

Эти команды могут быть выполнены также нажатием кнопок, расположенных в правом верхнем углу экрана:



*Analysis Options* – набор команд для установки параметров моделирования. Остановимся на этой команде подробнее.

При выборе команды открывается окно *Analysis Options*.

Закладка *Global* служит для общих настроек режима моделирования (рис. 27). Параметры имеют следующее назначение:

- *Abstol* – абсолютная ошибка расчета токов;
- *Gmin* – минимальная проводимость ветви цепи (проводимость ветви меньшая *Gmin*, считается равной нулю);
- *Pivrel*, *Pivotol* – относительная и абсолютная величины элемента строки матрицы узловых проводимостей (например, при расчете по методу узловых потенциалов), необходимые для его выделения в качестве ведущего элемента;

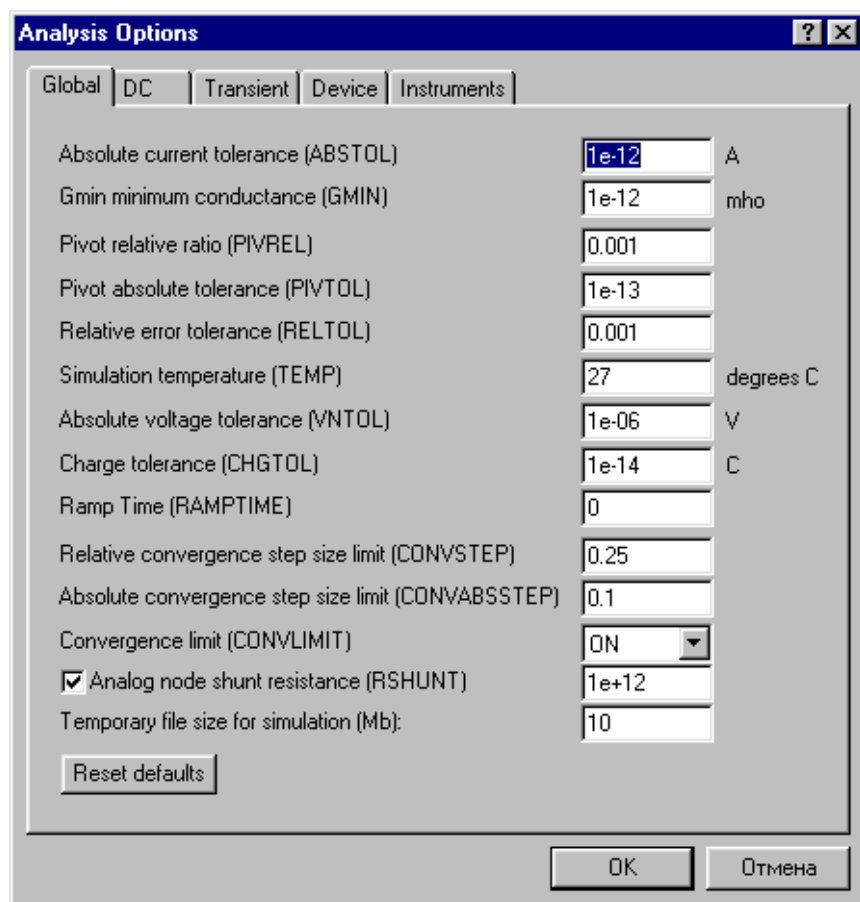


Рис. 27. Закладка *Global* установки параметров моделирования *Analysis Options*

- *Reltol* – допустимая относительная ошибка расчета напряжений и токов;

- *Temp* – температура, при которой проводится моделирование;
- *Vntol* – допустимая ошибка расчета напряжений в режиме *Transient* (анализ переходных процессов);
- *Chgtol* – допустимая ошибка расчета зарядов;
- *Ramptime* – начальная точка отсчета времени при анализе переходных процессов;
- *Convstep* – относительный размер шага итерации при расчете режима по постоянному току;
- *Convabsstep* – абсолютный размер шага итерации при расчете режима по постоянному току;
- *Convlimit* – включение или выключение дополнительных средств обеспечения сходимости итерационного процесса;
- *Rshunt* – допустимое сопротивление утечки для всех узлов относительно общей шины (заземления);
- *Temporary...* – объем дисковой памяти для хранения временных файлов (в Мбайт).

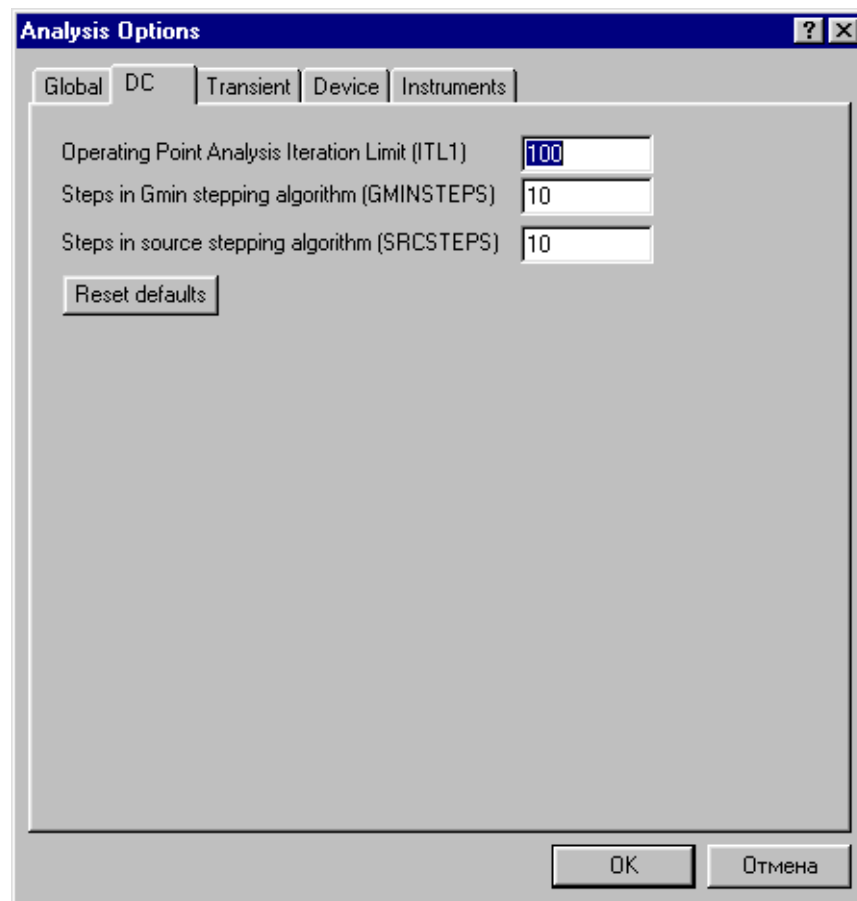


Рис. 28. Закладка DC установки параметров моделирования Analysis Options

Закладка *DC* служит для настройки режима расчета по постоянному току (статический режим). Для настройки этого режима используется диалоговое меню (рис. 28), опции которого имеют следующее назначение:

- *Itl1* – максимальное количество итераций приближенных расчетов;
- *Gminsteps* – размер приращения проводимости в процентах от *Gmin* (используется при слабой сходимости итерационного процесса);
- *Srcsteps* – размер приращения напряжения питания в процентах от его номинального значения при вариации напряжения питания (используется при слабой сходимости итерационного процесса).

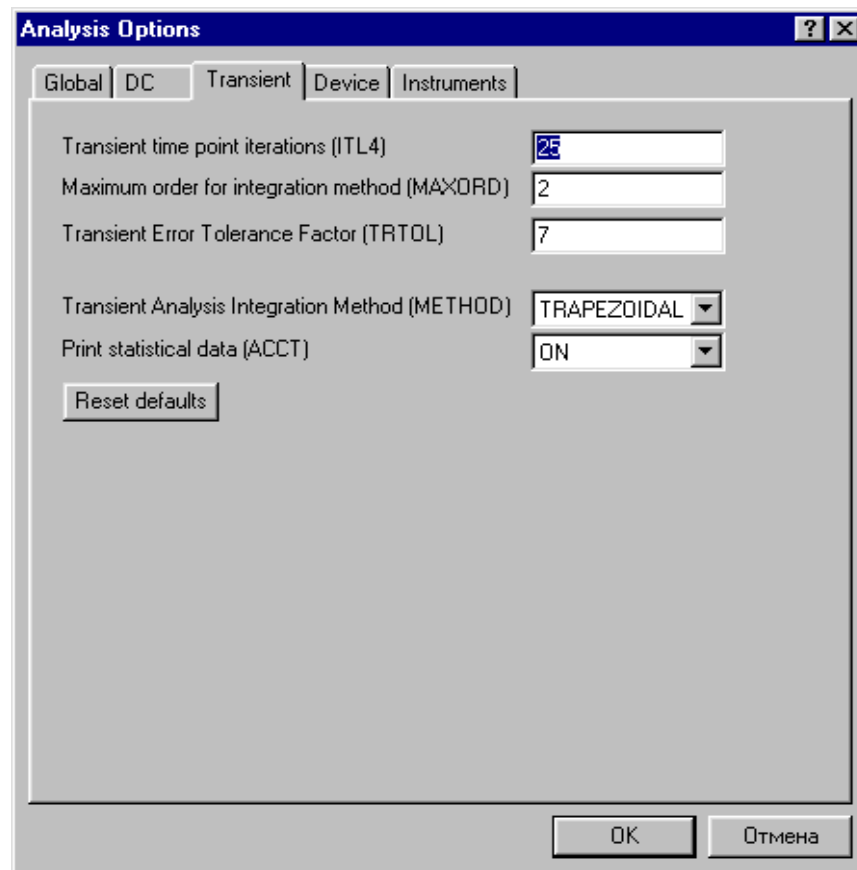


Рис. 29. Закладка Transient установки параметров моделирования Analysis Options

Кнопка *Reset Defaults* предназначена для установки по умолчанию параметров, показанных на рис. 28. Используется в том случае, если после редактирования необходимо вернуться к исходным данным.

Закладка Transient служит для настройки параметров режима анализа переходных процессов (рис. 29).

На данной закладке:

- *Itl4* – максимальное количество итераций за время анализа переходных процессов;
- *Maxord* – максимальный порядок (от 2 до 6) метода интегрирования дифференциального уравнения;
- *Trtol* – допуск на погрешность вычисления переменной;
- *Method* – метод приближенного интегрирования дифференциального уравнения (*Trapezoidal* – метод трапеций, *Gear* – метод Гира);

– *Acct* – разрешение на вывод статистических сообщений о процессе моделирования.

Закладка *Device* служит для выбора параметров МОП–транзисторов (диалоговое окно показано на рис. 30):

- *Defad* – площадь диффузионной области стока, м<sup>2</sup>;
- *Defas* – площадь диффузионной области истока, м<sup>2</sup>;
- *Defl* – длина канала полевого транзистора, м;
- *Defw* – ширина канала, м;
- *Tnom* – номинальная температура компонента;
- *Bypass* – включение или выключение нелинейной части модели компонента;
- *Trytocompact* – включение или выключение линейной части модели компонента.

Закладка *Instruments* служит для настройки параметров контрольно-измерительных приборов (рис. 31):

- *Pause after each screen* – пауза (временная остановка моделирования) после заполнения экрана осциллографа по горизонтали (*Oscilloscope*);
- *Generate time steps automatically* – автоматическая установка временного шага (интервала) вывода информации на экран;
- *Minimum number of time points* – минимальное количество отображаемых точек за период наблюдения (регистрации);
- *Tmax* – промежуток времени от начала до конца моделирования;
- *Set to Zero* – установка в нулевое (исходное) состояние контрольно-измерительных приборов перед началом моделирования;
- *User-defined* – управление процессом моделирования проводится пользователем (ручной пуск и остановка);
- *Calculate DC operating point* – выполнение расчета режима по постоянному току;
- *Points per cycle* – количество отображаемых точек при выводе амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик (*Bode plotter*);
- *Use engineering notation* – использование инженерной системы обозначений единиц измерения (например, напряжения будут выводиться в милливольтмах (мВ), микровольтах (мкВ), нановольтах (нВ) и т. д.).

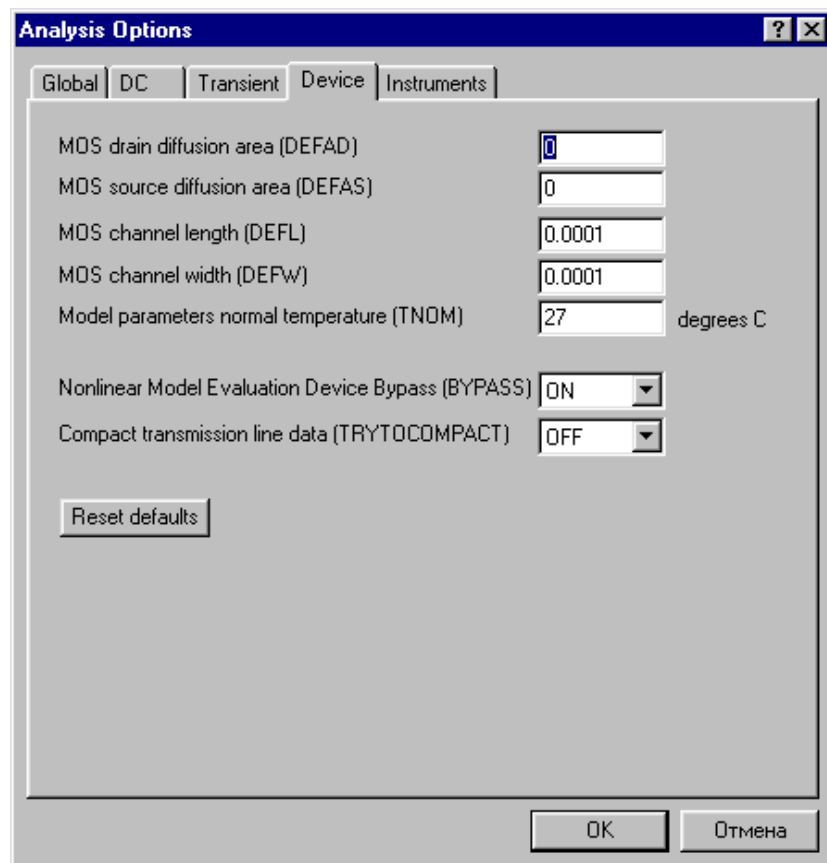


Рис. 30. Закладка Device установки параметров моделирования Analysis Options

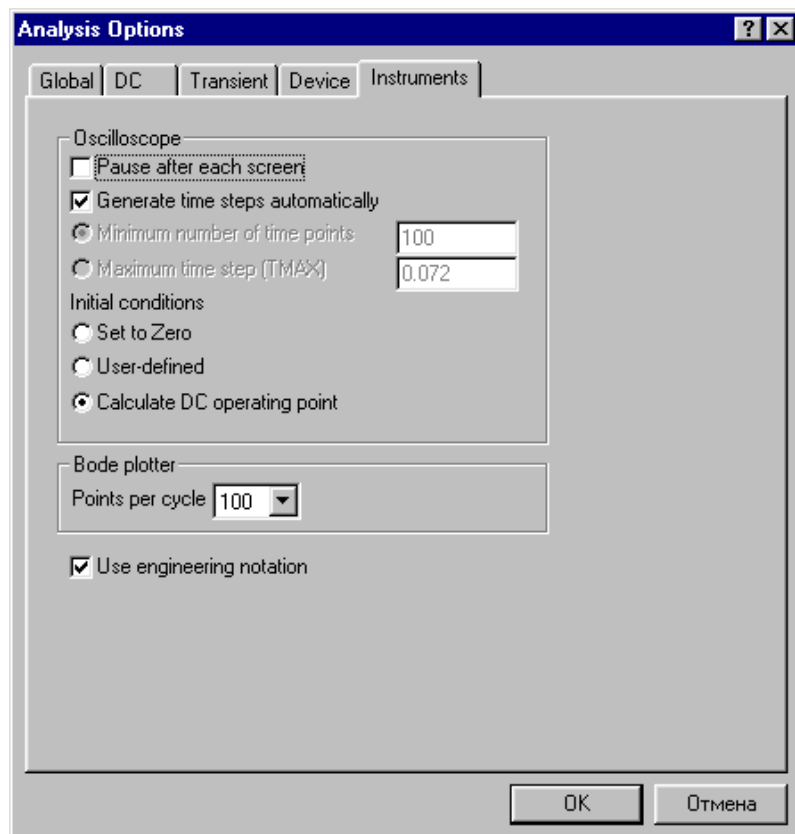
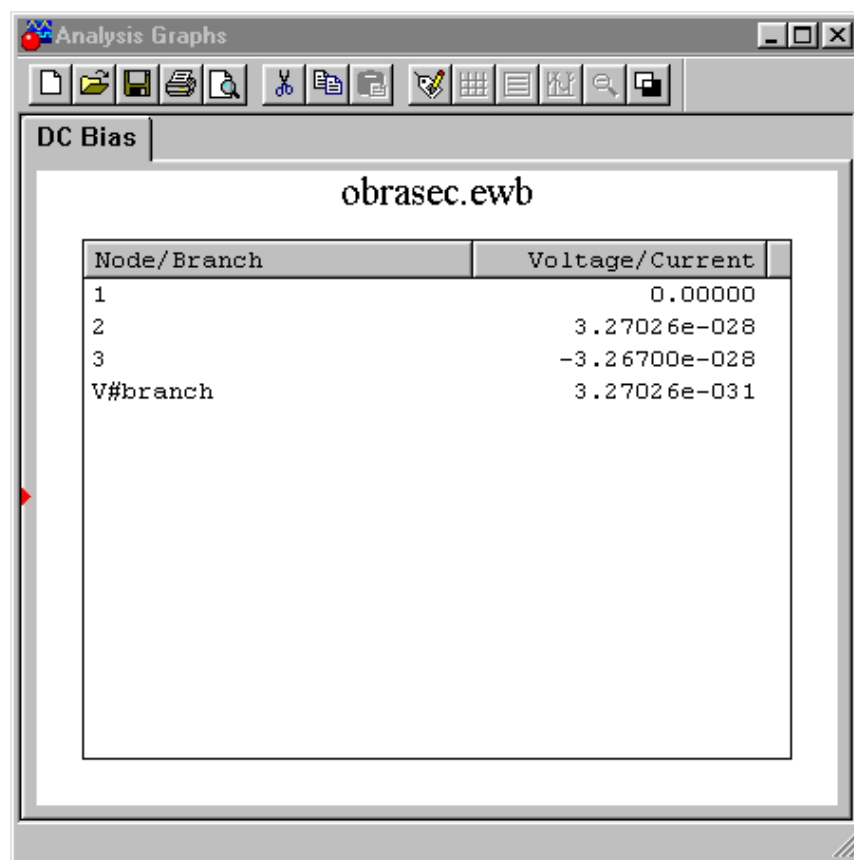


Рис. 31. Закладка Instruments установки параметров моделирования Analysis Options

**Команда *DC Operating Point* меню *Analysis*** (рис. 26) запускает расчет режима по постоянному току (в режиме по постоянному току *DC* из моделируемой схемы исключаются все конденсаторы и закорачиваются все индуктивности). На экране появляется окно *Analysis Graphs*, закладка *DC Bias* (рис. 32).



The screenshot shows a window titled 'Analysis Graphs' with a toolbar and a tab labeled 'DC Bias'. The main area displays the filename 'obrasec.ewb' and a table of results.

Node/Branch	Voltage/Current
1	0.00000
2	3.27026e-028
3	-3.26700e-028
V#branch	3.27026e-031

Рис. 32. Закладка *DC Bias* (результаты расчета по постоянному току)

Отметим, что при использовании команд меню *Analysis* целесообразно в меню *Circuit>Schematic Options>Show/Hide* включить опции *Show Reference ID* и *Show Nodes* (при этом на схеме будут обозначены узловые точки как на рис. 8, эти же точки отражены в таблице на рис. 32). В верхней части окна указано имя схемного файла (для нашего примера это *obrasec.ewb*). Ниже приведены потенциалы узлов схемы в контрольных точках 1, 2, 3. Переменная *V#branch* обозначает постоянное напряжение на источнике.

Если курсор мыши поместить в окно на рис. 32 и нажать правую кнопку, вызывается диалоговое окно (рис. 33), с помощью которого можно отредактировать название *Title* (по умолчанию принимается название схемного файла), изменить его шрифт *Font* и т. д.



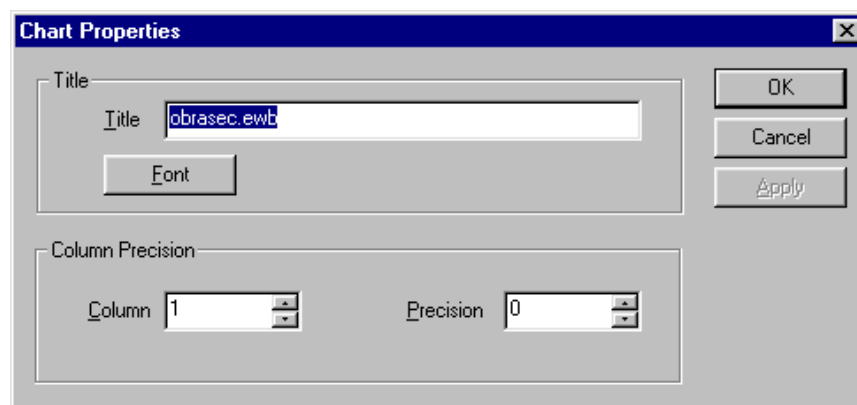


Рис. 33. Закладка редактирования оформления результатов расчета

**Команда *AC Frequency* меню *Analysis*** (рис. 26) запускает режим расчета частотных характеристик.

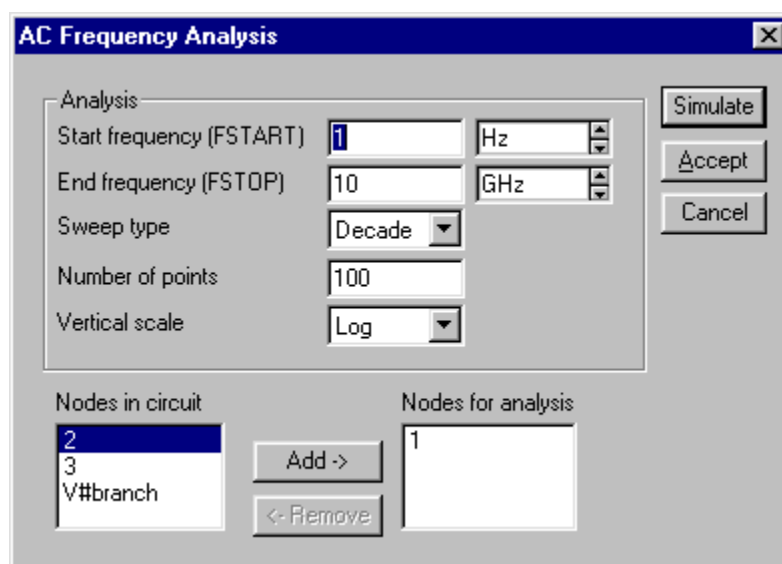


Рис. 34. Окно задания параметров расчета частотных характеристик

Выполнение команды начинается с задания в диалоговом окне (рис. 34) параметров:

- *Fstart*, *Fstop* – границы частотного диапазона (минимальное и максимальное значение частоты соответственно);
- *Sweep type* — масштаб по горизонтали: декадный (*Decade*), линейный (*Linear*) и октавный (*Octave*);
- *Number of points* – число точек расчета;
- *Vertical scale* – масштаб по вертикали: линейный (*Linear*), логарифмический (*Log*) и в децибелах (*Decibel*);
- *Nodes in circuit* – список всех узлов цепи;
- *Nodes for analysis* – номера узлов, для которых рассчитываются характеристики схемы. Перечень таких узлов устанавливается нажатием кнопок *Add* (добавить) и *Remove* (удалить);

– *Simulate* – кнопка запуска режима моделирования. Результаты моделирования схемы (рис. 1) представлены на рис. 35 в виде амплитудно-частотной (АЧХ — верхняя кривая) и фазо-частотной (ФЧХ — нижняя кривая) характеристик. Аналогичные характеристики можно получить также с помощью измерителя АЧХ-ФЧХ, причем с более высокой точностью за счет сканирования АЧХ и ФЧХ в выбранных точках визирной линейкой (рис. 25). Дополнительные манипуляции с результатами расчета выполняются с помощью командных кнопок, расположенных в верхней части окна (рис. 35). Первые восемь кнопок являются стандартными и пояснений не требуют.

Кнопка *Properties* служит для задания параметров графического изображения:



При ее нажатии открывается диалоговое окно (рис. 36), имеющее закладки *General*, *Left Axis*, *Bottom Axis*, *Right Axis*, *Top Axis* и *Traces*. Это окно можно вызвать, поместив курсор на поле рисунка и щелкнув правой клавишей мыши. В появившемся меню выбрать опцию *Properties*.

Окно *General* состоит из четырех блоков:

- *Title* – редактирование названия полученного графика с возможностью изменения шрифта;
- *Grid* – нанесение на графики сетки с возможностью редактирования толщины линий и их цвета;
- *Trace Legend* – отображение на экране сигнала в контрольных точках схемы с указанием цвета соответствующих графиков;
- *Cursors* – вывод на экран характеристик АЧХ и ФЧХ в табличном виде для одного или всех выбранных узлов схемы.

При выборе заставки *Left Axis* диалоговое окно оформления результатов моделирования имеет вид, показанный на рис. 37.

Оно состоит из следующих блоков:

- *Label* – редактирование обозначения оси  $Y$  с возможностью изменения шрифта и его атрибутов (например, можно заменить символ обозначения напряжения  $V$  на  $U$ );
- *Axis* – изменение толщины линии оси  $Y$  и ее цвета;
- *Range* – диапазон значений по оси  $Y$ ;
- *Scale* – установка масштаба по оси  $Y$  (линейный, логарифмический и т.д.);
- *Division* – количество разбиений в одном большом делении сетки.

Для закладок *Bottom Axis*, *Right Axis* и *Top Axis* окна настроек имеют аналогичный вид.

Закладка *Traces* окна настроек показано на рис. 38.

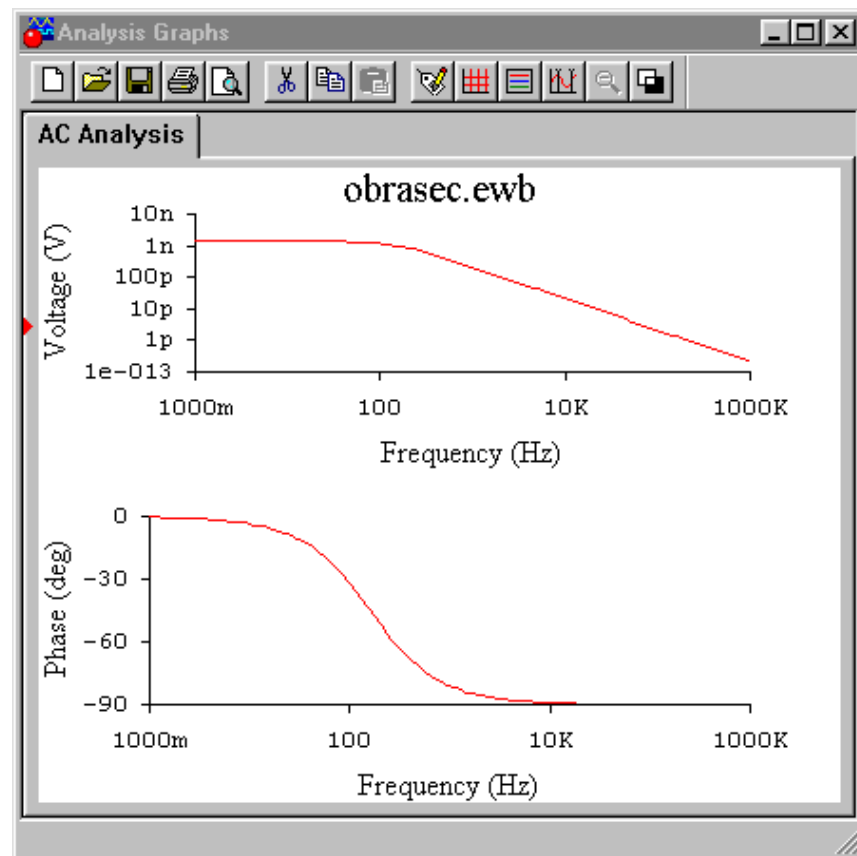


Рис. 35. Результаты расчета АЧХ и ФЧХ

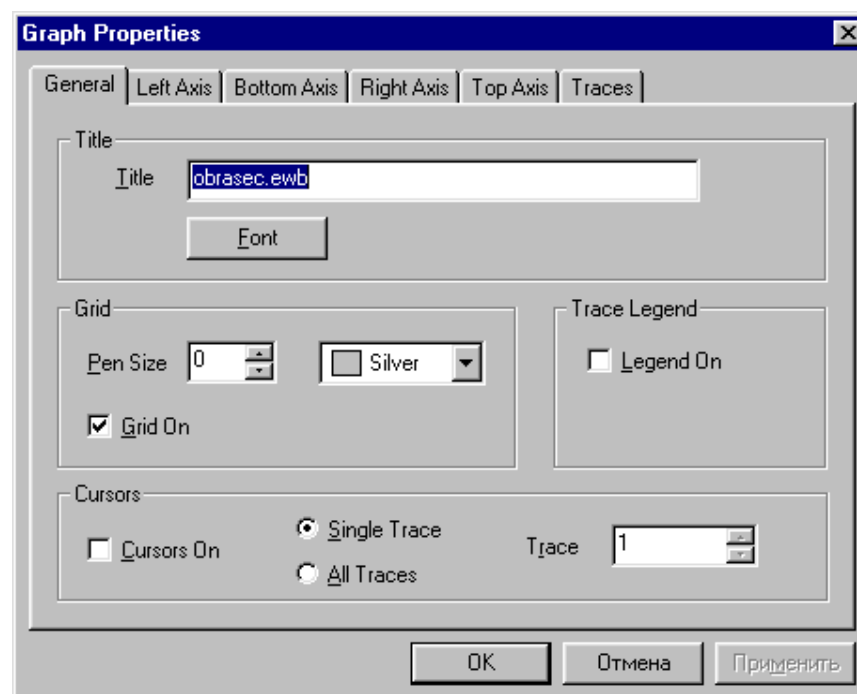


Рис.36. Окно для задания параметров графического изображения

Оно состоит из следующих блоков:

- *Trace* – выбор номера контрольной точки, для которой редактируется изображение характеристики;
- *Label* – задание метки рассматриваемой точки (на рис. 38 она совпадает с номером контрольной точки, однако здесь может быть размещена и другая информация в виде комментариев);

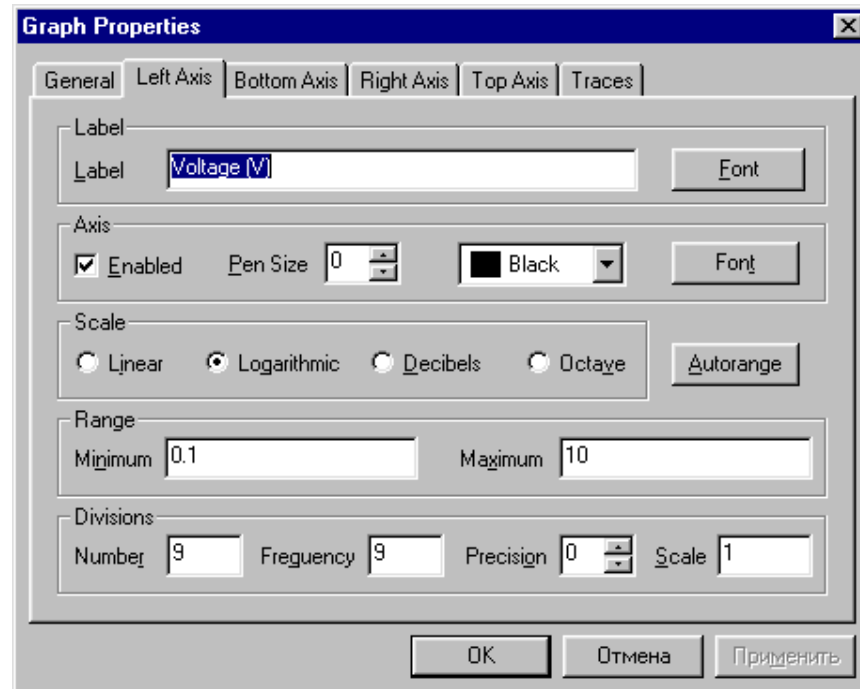


Рис. 37. Диалоговое окно оформления результатов моделирования

- *Pen Size* – выбор ширины линии для изображения характеристики;
- *Color* – выбор цвета линии;
- *Sample* — образец линии;
- *X Range* – выбор оформления для оси X, аналогичного выбранному на закладке *Bottom Axis* или *Top Axis*.
- *Y Range* – выбор оформления для оси Y, аналогичного выбранному на закладке *Left Axis* (рис. 37) или *Right Axis*;
- *Offsets* – установка смещения координат по осям X и Y.

Кнопки



имеют следующее назначение:

- вставить сетку (*Toggle Grid*);
- вставить обозначение контрольной точки (*Toggle Legend*);

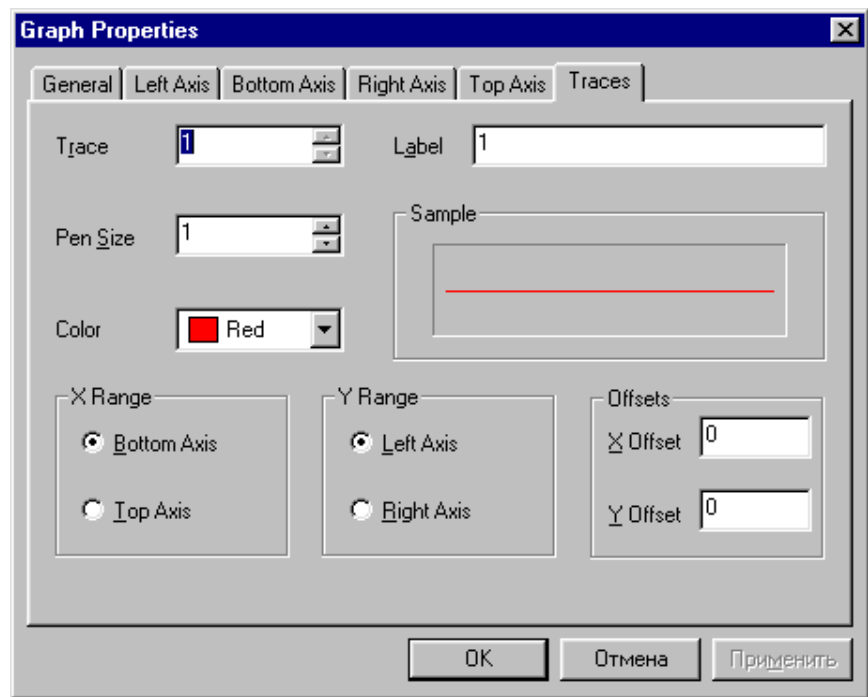


Рис. 38. Закладка Traces окна для задания параметров графического изображения

- вывести числовые данные (*Toggle Cursor*);
- восстановить графическое обозначение, т.е. проигнорировать введенные изменения (*Restore Graph*);
- создать инверсный рисунок.

**Команда *Transient* меню *Analysis*** (рис. 26) запускает режим расчета переходных процессов. Диалоговое окно команд (рис. 39) содержит следующие настройки:

- *Initial conditions* – установка начальных условий моделирования (назначение настроек этого блока рассматривались при описании окна на рис.31);
- *Tstart* – время начала анализа переходных процессов;
- *Tstop* – время окончания анализа;
- *Generate time steps automatically* – расчет переходных процессов с переменным шагом, выбираемым автоматически в соответствии с допустимой относительной ошибкой *RELTOL*, задаваемой в окне на рис. 27 (если эта опция выключена, то расчет ведется с учетом двух других опций, описанных при рассмотрении окна);
- *Tstep* – временной шаг вывода результатов моделирования на экран монитора.

Порядок использования параметров *Nodes in circuit* описан при рассмотрении окна на рис. 34.

Результаты моделирования переходных процессов в схеме (рис. 1) для параметров, заданных в окне на рис. 39, представлены на рис.40.

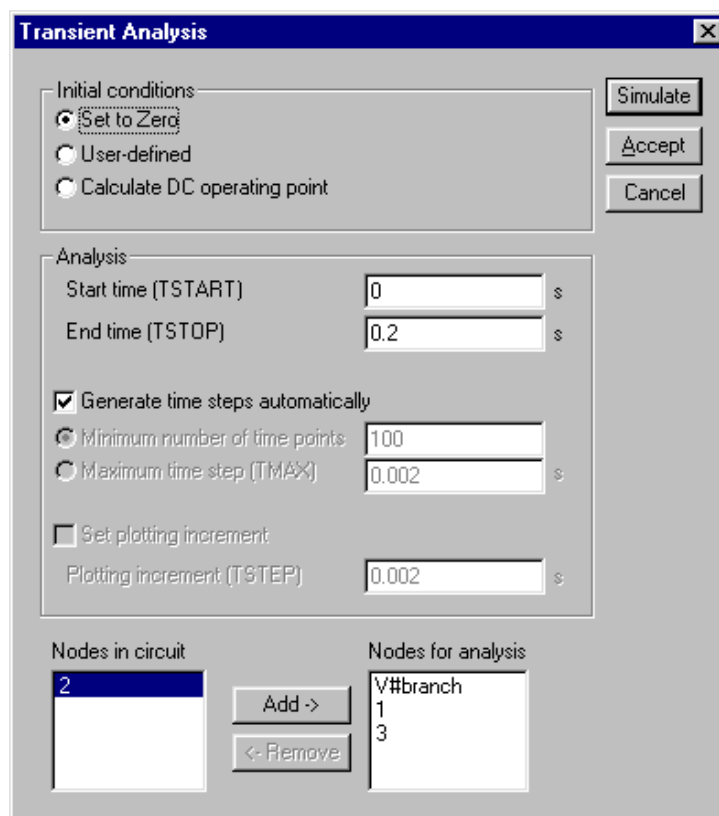


Рис. 39. Диалоговое окно задания режима расчета переходных процессов

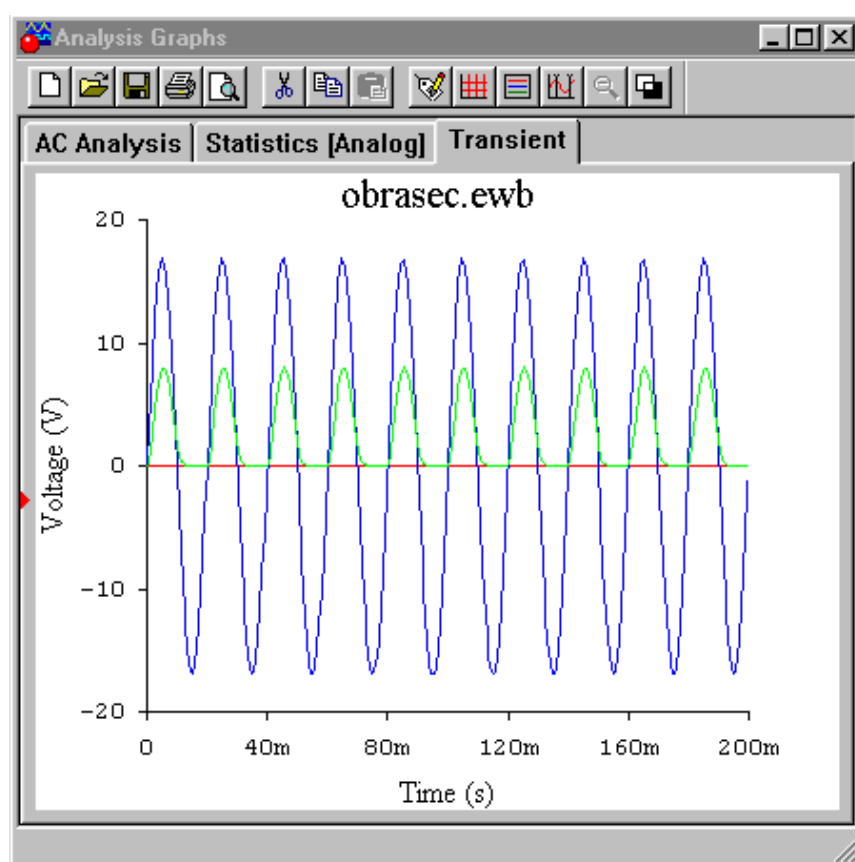


Рис. 40. Результаты расчета переходных процессов

**Команда *Fourier* меню *Analysis*** (рис. 26) запускает режим Фурье–анализа (спектрального анализа). При выборе этой команды необходимо задать параметры моделирования с помощью диалогового окна (рис. 41), в котором опции имеют следующее назначение:

- *Output node* – номер контрольной точки (узла), в которой анализируется спектр сигнала;
- *Fundamental frequency* – частота первой гармоники;
- *Number harmonic* – число гармоник, подлежащих анализу;
- *Vertical scale* – масштаб по оси Y (линейный, логарифмический, в децибелах);

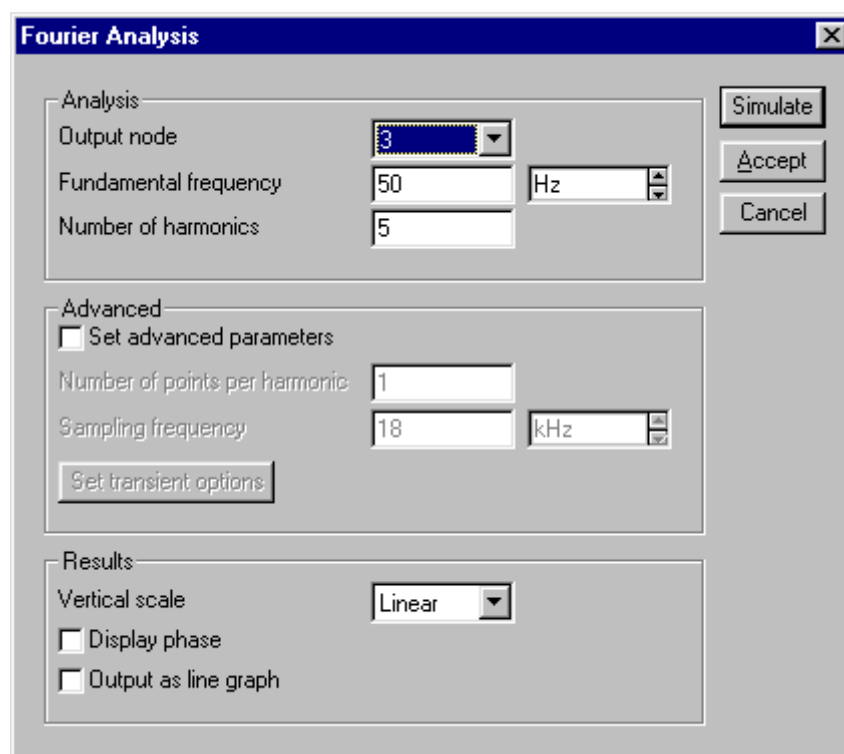


Рис.41. Окно задания параметров спектрального анализа

– *Advanced* – набор опций этого блока предназначен для определения более тонкой структуры анализируемого сигнала путем введения дополнительных выборов (по умолчанию выключены);

– *Number of points per harmonic* – количество отсчетов (выборки) на одну гармонику;

– *Sampling frequency* – частота следования выборок.

В результате спектрального анализа получаем линейчатый спектр исследуемого сигнала, в нижней части рисунка указывается коэффициент нелинейных искажений в процентах (рис. 42 – результат анализа сигналов в схеме на рис. 1 при настройках, принятых на рис.41).

Если в окне на рис. 41 установить последние опции (*Display phase* – показать распределение фаз и *Output as line graph* – показать спектр в виде непрерывного графика), то результаты анализа приобретают вид, показанный на рис. 43 (верхняя кривая — распределение амплитуд, нижняя — распределение фаз гармонических составляющих).

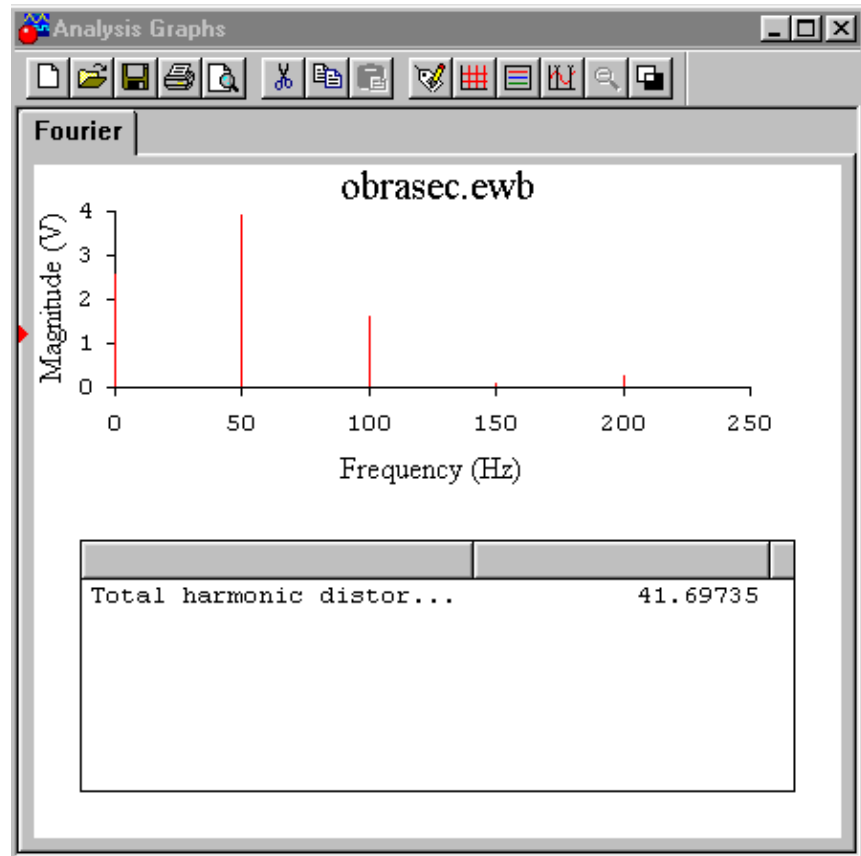


Рис. 42. Результаты спектрального анализа

Команда *Monte Carlo* меню *Analysis* (рис. 26) запускает режим статистического анализа по методу Монте - Карло.

В диалоговом окне установки параметров моделирования (рис.44) задаются следующие параметры:

- *Number of runs* – количество статистических испытаний;
- *Tolerance* – отклонения параметров резисторов, конденсаторов, индуктивностей, источников переменного и постоянного тока и напряжения;
- *Seed* – начальное значение случайной величины (этот параметр определяет начальное значение датчика случайных чисел и может задаваться в пределах 1...32767);
- *Distribution type* – закон распределения случайных чисел (*Uniform* – равновероятное распределение на отрезке  $(-1,+1)$  и *Gaussian* – гауссовское распределение на отрезке  $(-1,+1)$  с нулевым средним значением и среднеквадратическим отклонением 0,25). Требуемый закон распределения выбирается после нажатия кнопки в поле рассматриваемой опции;



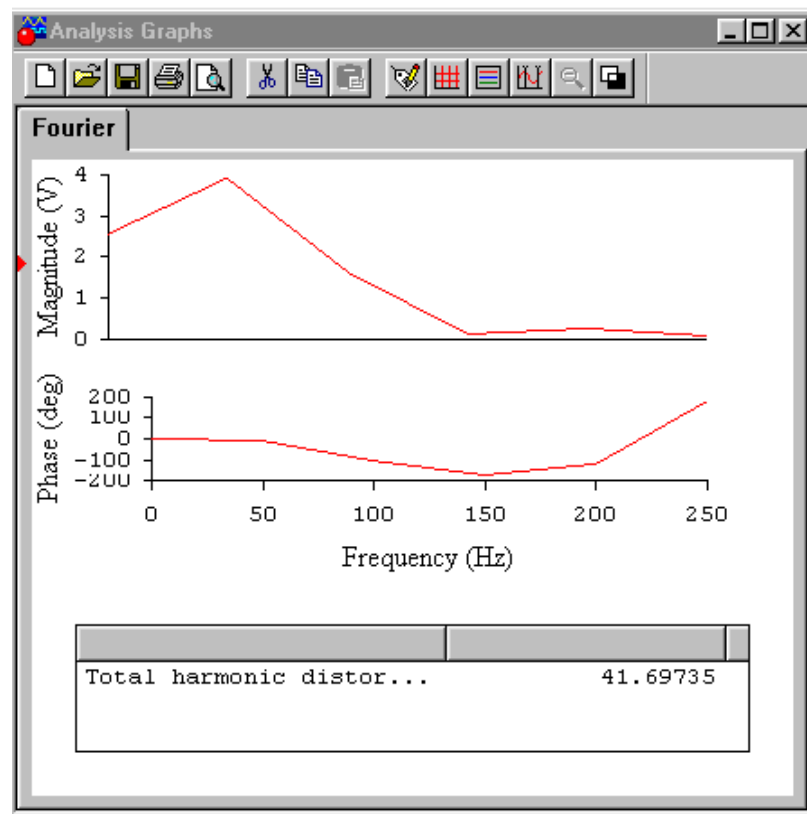


Рис. 43. Представление результатов спектрального анализа в виде непрерывных графиков

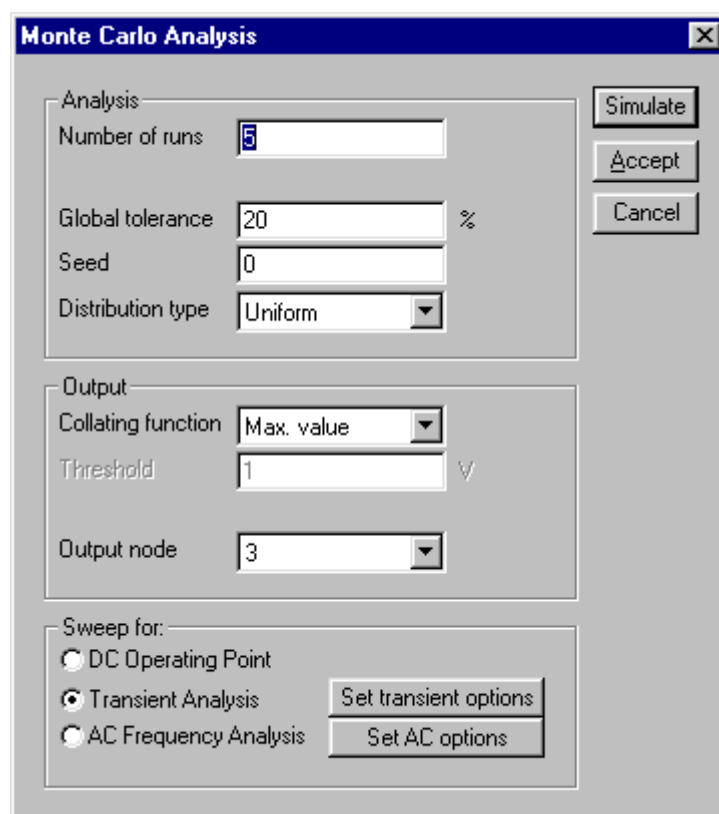


Рис. 44. Окно настройки параметров режима статистического анализа по методу Монте-Карло

– *Collating function* – характеристики схемы (максимальное и минимальное значение величины *Max. value*, *Min. value*, максимальная и минимальная частота *Frequency at max*, *Frequency at min*, значение частоты *Rise edge frequency*, *Fall edge frequency*, при котором происходит пересечение заданного уровня порогового напряжения *Threshold* снизу вверх и сверху вниз);

– *Output node* – выбор выходной точки схемы;

– *Sweep For* – режимы моделирования (описаны выше) для которых может быть выполнен статистический анализ.

Результаты статистического анализа схемы на рис. 1 при указанных на рис. 44 значениях параметров приведены на рис.45 для режима анализа переходных процессов.

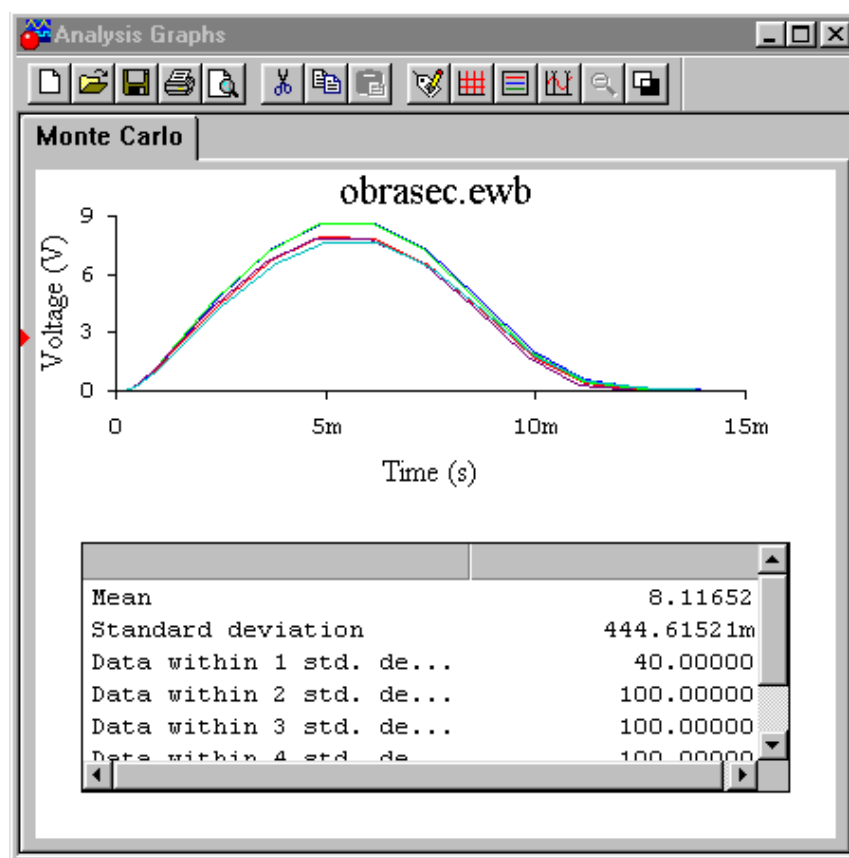


Рис. 45. Результаты статистического анализа по методу Монте–Карло

**Команда *Display Graph*** меню *Analysis* (рис. 26) служит для вызова на экран графиков результатов выполнения одной из команд моделирования. Если в процессе моделирования использовано несколько команд этого меню, то результаты их выполнения накапливаются и в виде закладок с наименованием команд, которые могут перемещаться кнопками, расположенными в правом верхнем углу окна (рис.46). Это позволяет оперативно просматривать результаты моделирования без его повторного проведения. Отметим, что вызов команды происходит автоматически при выполнении первой же команды из меню *Analysis*. Если в схеме используется

осциллограф, то после запуска моделирования и предварительно установленной команды *Display Graph* в ее окне появляется закладка *Oscilloscope* с изображением осциллограммы; если используется измеритель АЧХ-ФЧХ, то появляется закладка *Bode* с изображением АЧХ и ФЧХ и т.д. (рис. 46). Одновременно графическая информация выводится также и на основные приборы.

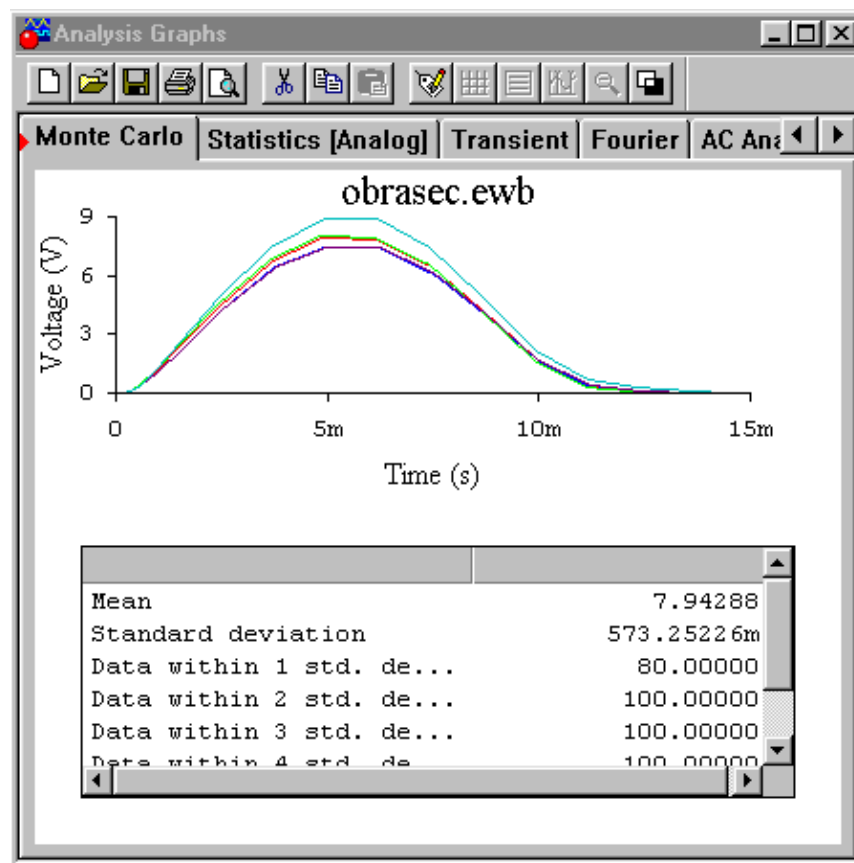
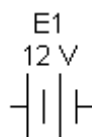


Рис. 46. Все результаты анализа в одном окне

## Идеальный источник постоянной ЭДС (напряжения). Снятие нагрузочных характеристик с помощью амперметра и вольтметра

Идеальным (с внутренним сопротивлением  $R_i = 0$ ) источником напряжения называют активный элемент, напряжение на зажимах которого не зависит от протекающего через него тока. Отдаваемая мощность не ограничена, напряжение на зажимах не изменяется при увеличении тока. В EWB идеальный источник напряжения находится в группе *Source* и имеет следующее обозначение:



Задание. Соберите схему, представленную на рис. 47.

Подключите идеальный источник постоянной ЭДС (E1) с помощью ключа [1] на систему из нагрузочных резисторов (R1–R4). Размыкая и замыкая ключи [5]–[8] у резисторов и измеряя ток и напряжение, заполните таблицу измерений. Повторите этот эксперимент со вторым (E2), третьим (E3) и четвертым (E4) источником.

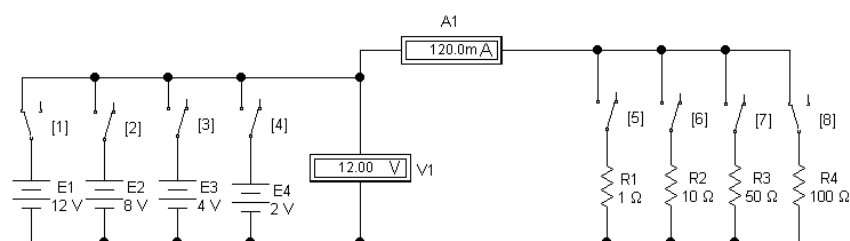


Рис. 47. Схема исследования идеального источника напряжения

### Объекты исследования, оборудование, инструмент.

Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

#### Подготовка к работе.

- Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 4).
- Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

#### Порядок выполнения

##### 1. Подготовка схемы измерения

Из группы компонентов *Source* (рис. 3)



выбрать 4 идеальных источника ЭДС и поместить их на рабочий стол, расположив как показано на рис. 47. Щелкнув правой клавишей мыши по элементу и выбрав в появившемся меню (рис. 12) команду *Component*

*Properties*, в появившемся окне (рис. 13) задать величину ЭДС и обозначение источника (как указано на рис. 47). Повторить эту операцию для всех компонентов. Выбрав опцию *Schematic Options* из меню *Circuit* (рис. 4) или из окна динамического меню (рис. 5), установить желаемый размер, стиль и цвет шрифта.

Из группы компонентов *Basic*



выбрать 4 резистора и 4 переключателя, поместить их на рабочий стол, повернуть командой *Rotate* (рис. 12) и расположить как показано на рис. 47. С помощью описанной выше процедуры задать величину сопротивлений и их обозначения в соответствии с рис. 47, а также параметр *Value* (рис. 13) переключателей. Значение параметра соответствует клавише, с помощью которой будет переключаться переключатель.

Из группы компонентов *Controls*



выбрать амперметр и вольтметр, поместить их на рабочий стол и расположить как показано на рис. 47. С помощью описанной выше процедуры задать величины внутренних сопротивлений приборов (очень большое сопротивление для вольтметра и очень маленькое сопротивление для амперметра), выбрать вид измеряемого тока DC (постоянный) и их обозначения в соответствии с рис. 47. После этого соединить компоненты проводниками в соответствии со схемой на рис. 47.

## 2. Измерения

Переключателем [1] подключить источник E1, переключателем [5] – сопротивление R1. Запустить моделирование командой *Activate* меню *Analysis* (рис. 26) или кнопкой (рис. 1)



Полученные результаты измерений занести в таблицу. Повторить измерения, поочередно с помощью переключателей [6]–[8] подключая резисторы R2–R4. Результаты измерений занести в таблицу.

Повторить указанный цикл измерений для источников E2–E4. Результаты измерений занести в таблицу:

Источ ник ЭДС	Напряже ние V1, Вольт	Ток A1, Ампер			
		R1= 1 Ом	R2=10 Ом	R3=50 Ом	R4=100 Ом
E1					
E2					

E3					
E4					

### Анализ результатов

По результатам измерений построить нагрузочные характеристики идеальных источников постоянной ЭДС.

### Содержание отчета

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Краткое изложение теоретической части.
3. Схемы всех исследованных в работе устройств.
4. Полученные результаты оформить в соответствии с требованиями, указанными в программе работы (в табличном, графическом или ином виде) с соответствующими расчетами и пояснениями.
5. Сделать выводы.

### Контрольные вопросы.

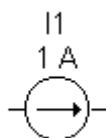
1. Для чего предназначена программа Electronics Workbench V5.12?
2. Какие электроизмерительные приборы использует программа Electronics Workbench V5.12?
3. С помощью каких приборов можно исследовать АЧХ?

## Лабораторная работа № 2

### Идеальный источник тока.

#### Снятие нагрузочных характеристик с помощью амперметра и вольтметра

Идеальным (с внутренним сопротивлением  $R_i = \infty$ ) источником тока называют активный элемент, сила тока которого не зависит от напряжения его на зажимах. Мгновенная мощность источника не ограничена. В EWB идеальный источник напряжения находится в группе *Source* и имеет следующее обозначение:



### Объекты исследования, оборудование, инструмент.

Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

### Подготовка к работе.

- Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 4).
- Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

### Порядок выполнения работы.

Собрать схему, представленную на рис. 48.

Подключить идеальный источник тока (I1) с помощью ключа [1] на систему из нагрузочных резисторов (R1–R4). Размыкая и замыкая ключи [5]–[8] у резисторов и измеряя ток и напряжение, заполнить таблицу измерений. Повторить этот эксперимент со вторым (I2), третьим (I3) и четвертым (I4) источником тока.

Порядок выполнения аналогичен изложенному в работе №1. Результаты измерений занести в таблицу:

Источ ник тока	Напряже ние V1, Вольт	Ток A1, Ампер			
		R1= 1 Ом	R2=5 Ом	R3=10 Ом	R4=20 Ом
I1					
I2					
I3					
I4					

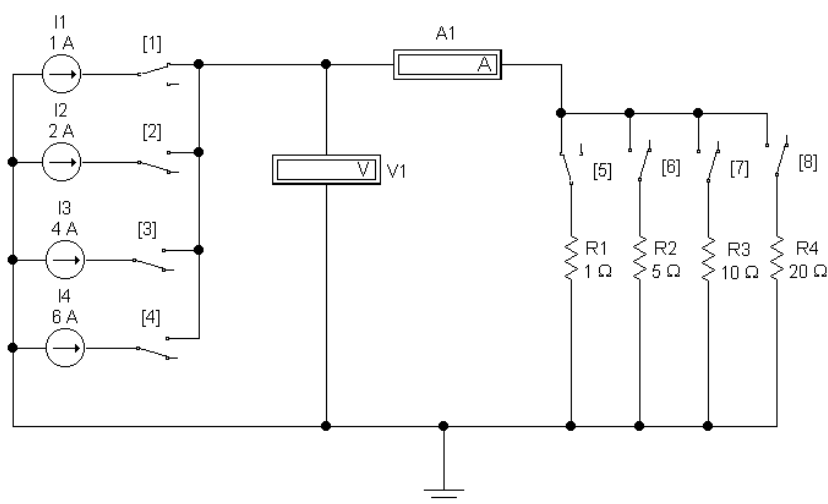


Рис. 48. Схема исследования идеального источника тока

### Анализ результатов

По результатам измерений построить нагрузочные характеристики идеальных источников постоянной ЭДС.

### Содержание отчета

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Краткое изложение теоретической части.
3. Схемы всех исследованных в работе устройств.

4. Полученные результаты оформить в соответствии с требованиями, указанными в программе работы (в табличном, графическом или ином виде) с соответствующими расчетами и пояснениями.

5. Сделать выводы.

### **Контрольные вопросы.**

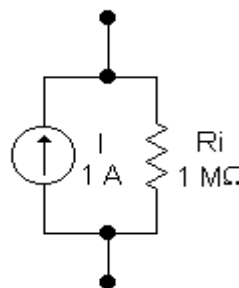
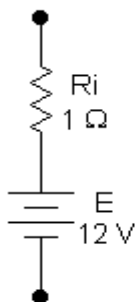
1. С помощью каких приборов можно исследовать АЧХ?
2. С помощью каких приборов можно исследовать временные характеристики сигналов?
3. Какие виды электроизмерительных приборов, не включенных в программу Electronics Workbench V5.12, вы еще знаете?

## **Лабораторная работа № 3**

### **Модель источника ограниченной мощности.**

#### **Снятие нагрузочных характеристик**

Модель источника ограниченной мощности (неидеального источника) может быть создана двумя способами – включая сопротивление  $R_i$  последовательно с идеальным источником напряжения или параллельно с идеальным источником тока ( $R_i$  – внутреннее сопротивление источника):



### **Объекты исследования, оборудование, инструмент.**

Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

### **Подготовка к работе.**

- Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 4).
- Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

### **Порядок выполнения работы.**

Собрать схему, представленную на рис. 49.

Подключить источник напряжения с помощью ключа [1] на систему из нагрузочных резисторов ( $R_1$ – $R_4$ ). Размыкая и замыкая ключи [5]–[8] у резисторов и измеряя ток и напряжение, заполнить таблицу измерений:



Источник напряжения		
Сопротивление	Напряжение V1, Вольт	Ток A1, Ампер
R1 = 0,1 Ом		
R2 = 1 Ом		
R3 = 10 Ом		
R4 = 100 Ом		

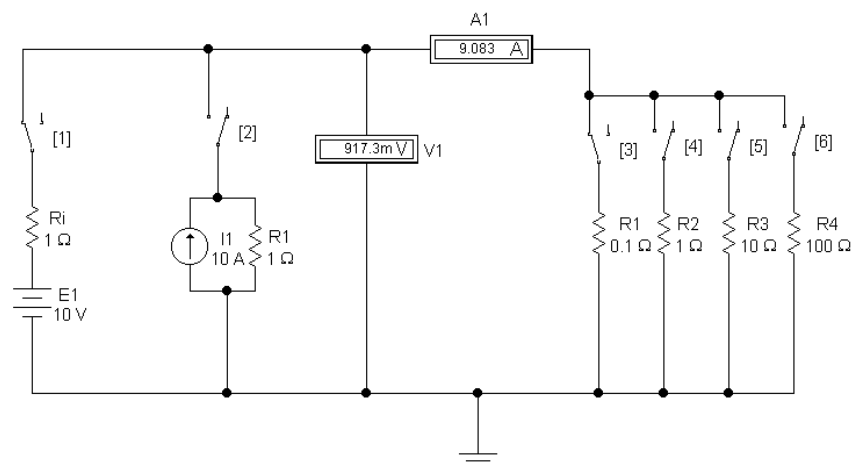


Рис. 49. Схема исследования источников ограниченной мощности

Повторить этот эксперимент с источником тока (ключ [2]). Результаты занести в таблицу измерений:

Источник тока		
Сопротивление	Напряжение V1, Вольт	Ток A1, Ампер
R1 = 0,1 Ом		
R2 = 1 Ом		
R3 = 10 Ом		
R4 = 100 Ом		

### Анализ результатов

По результатам измерений построить нагрузочные характеристики источников ограниченной мощности.

### Содержание отчета

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Краткое изложение теоретической части.
3. Схемы всех исследованных в работе устройств.
4. Полученные результаты оформить в соответствии с требованиями, указанными в программе работы (в табличном, графическом или ином виде) с соответствующими расчетами и пояснениями.
5. Сделать выводы.

## Контрольные вопросы

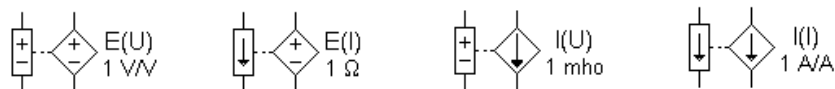
1. Какие величины могут быть измерены мультиметром в программе EWB.
2. Как выполнить поворот элемента в программе EWB.
3. Сколько соединений в программе EWB можно подвести к одному соединяющему узлу.
4. Каким образом изменяется номинальное значение сопротивления резистора

## Лабораторная работа № 4

### Зависимые источники напряжения и тока. Снятие нагрузочных характеристик

Реальные радиоэлектронные устройства (например, усилители) при теоретическом рассмотрении представляются источниками. Характерной особенностью таких источников является зависимость их ЭДС или тока от входного сигнала. Различают зависимые источники напряжения, управляемые напряжением  $E(U_{вх})$  и током  $E(I_{вх})$ , и зависимые источники тока, управляемые напряжением  $I(U_{вх})$  и током  $I(I_{вх})$ .

В EWB зависимые источники напряжения и тока находятся в группе *Source* и имеют следующие обозначения:



Параметр около обозначения компонентов называется коэффициентом передачи и характеризует степень влияния входного напряжения (или тока) на выходное напряжение (или ток). Например, коэффициент передачи  $1\Omega = 1V(\text{вольт})/1A(\text{ампер})$  означает, что при изменении управляющего тока на 1 А выходное напряжение изменится на 1 V.

### Объекты исследования, оборудование, инструмент.

Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

### Подготовка к работе.

- Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 4).
- Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

### Порядок выполнения работы.

Собрать схему, представленную на рис. 50.

Подключить управляющий источник напряжения E1 с помощью ключа [1] к цепи управления зависимого источника напряжения Eupr. Поочередно

размыкая и замыкая ключи [5]–[8] у нагрузочных резисторов R1–R4 и измеряя ток и напряжение, занести результаты в таблицу измерений.

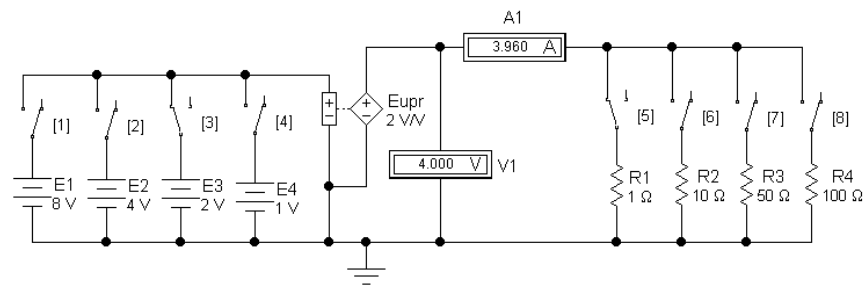


Рис. 50. Схема исследования зависимого источника напряжения

Повторить этот эксперимент для управляющих источников напряжения E2, E3 и E4, поочередно подключая их с помощью ключей [2]–[4] к цепи управления зависимого источника напряжения Eurp.

Результаты занести в таблицу измерений:

Управляющий источник, коэффициент передачи		R1= 1 Ом	R2= 10 Ом	R3= 50 Ом	R4= 100 Ом
E1=8 В 2V/V	Напряжение V1, Вольт				
	Ток A1, Ампер				
E2=4 В 2V/V	Напряжение V1, Вольт				
	Ток A1, Ампер				
E3=2 В 2V/V	Напряжение V1, Вольт				
	Ток A1, Ампер				
E4= 1 В 2V/V	Напряжение V1, Вольт				
	Ток A1, Ампер				

### Анализ результатов

По результатам измерений построить нагрузочные характеристики зависимого источника напряжения.

### Содержание отчета

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Краткое изложение теоретической части.
3. Схемы всех исследованных в работе устройств.
4. Полученные результаты оформить в соответствии с требованиями, указанными в программе работы (в табличном, графическом или ином виде) с соответствующими расчетами и пояснениями.
5. Сделать выводы.

### Контрольные вопросы

1. Сколько соединений в программе EWB можно подвести к одному соединяющему узлу.
2. Каким образом изменяется номинальное значение сопротивления резистора, какие еще параметры резистора могут быть заданы.
3. Можно ли указать на схеме обозначения резисторов R1, R2, .. и т.д., как это сделать.
4. Если бы вам пришлось создать собственный элемент, выполняющий функции омметра, какие элементы EWB вы могли бы использовать.

## Лабораторная работа № 5

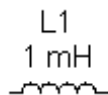
### Индуктивность

Индуктивность – идеализированный элемент, способный запасать энергию магнитного поля. Ток в индуктивности связан с напряжением на ее зажимах следующими соотношениями:

$$u_L = L \frac{di}{dt} \quad \text{или} \quad i(t_2) = i(t_1) + \frac{1}{L} \int_{t_1}^{t_2} u \, dt.$$

Количественно индуктивность  $L$  выражается в генри.

В EWB индуктивность находится в группе *Basic* и имеет следующее обозначение:



### Объекты исследования, оборудование, инструмент.

Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

### Подготовка к работе.

- Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 4).
- Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

### Порядок выполнения работы.

Соберите схему, представленную на рис. 51, и изучите влияние величины индуктивности на характер протекающих процессов.

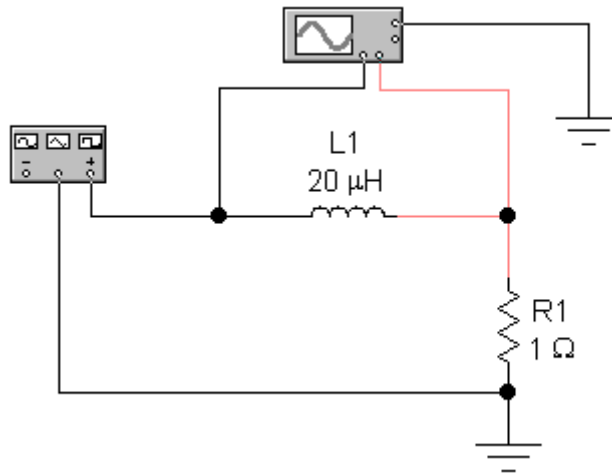


Рис. 51. Схема исследования индуктивности

#### 1. Подготовка схемы измерения.

Собрать схему, представленную на рис. 51. Линии, идущие к осциллографу, сделать разного цвета, чтобы 2 кривые четко различать на экране (рис. 16). Дважды щелкнуть левой клавишей мыши по изображению генератора. На экране появится передняя панель генератора (рис. 22). Перетащить мышью панель на свободное место экрана. Выбрать вид сигнала – прямоугольные импульсы, установить частоту 10 кГц, коэффициент заполнения 50 % и амплитуду 10 В. Дважды щелкнуть левой клавишей мыши по изображению осциллографа. На экране появится передняя панель осциллографа (рис. 23). Перетащить мышью панель на свободное место экрана. Установить режимы *AUTO*, *Y/T*, чувствительность каналов *A* и *B* *5V/Div*, длительность развертки *0,02 ms/div*.

#### 2. Измерения.

Переключателем [1] подключить индуктивность *L1*, Запустить моделирование командой *Activate* меню *Analysis* (рис.26) или кнопкой (рис. 1).



На экране осциллографа появятся 2 кривые.

Первая кривая – входное напряжение на индуктивности (подается на канал *A*).

Вторая кривая – напряжение на сопротивлении *R1*. Поскольку напряжение в вольтах на резисторе 1 Ом численно равно току через резистор в амперах ( $I = U/R = U/1 = U$ ), то с экрана осциллографа можно непосредственно считывать значение тока через индуктивность.

Остановить режим анализа. На экране сохранятся осциллограммы напряжения на индуктивности и тока через нее. Кнопкой *Expand* на передней

панели осциллографа увеличить размер панели (рис. 52). На рис. 52 кривая 1 – напряжение на индуктивности, кривая 2 – ток через индуктивность.

Зарисовать осциллограммы, измерить параметры сигналов. Для этого за треугольные ушки (они обозначены также цифрами 1 и 2) курсором перетащить вертикальные визирные линии (синего и красного цвета) в точки начала и конца одного из импульсов (рис. 52). Результаты измерений представлены в правом окошке под экраном. Здесь:

- (T2–T1) – длительность импульса;
- (VA2–VA1) – амплитудное значение сигнала, подаваемого на канал А (кривая 1);
- (VB2–VB1) – амплитудное значение сигнала, подаваемого на канал В (кривая 2).

Переключателем [2] подключить индуктивность L2 и повторить процедуру измерений.

Повторить измерения для L3, L4. С увеличением индуктивности амплитуда кривой 2 будет уменьшаться. Для удобства наблюдения можно увеличить чувствительность канала В (для L4 рекомендуемое значение чувствительности  $100\text{ mV/Div}$ ).

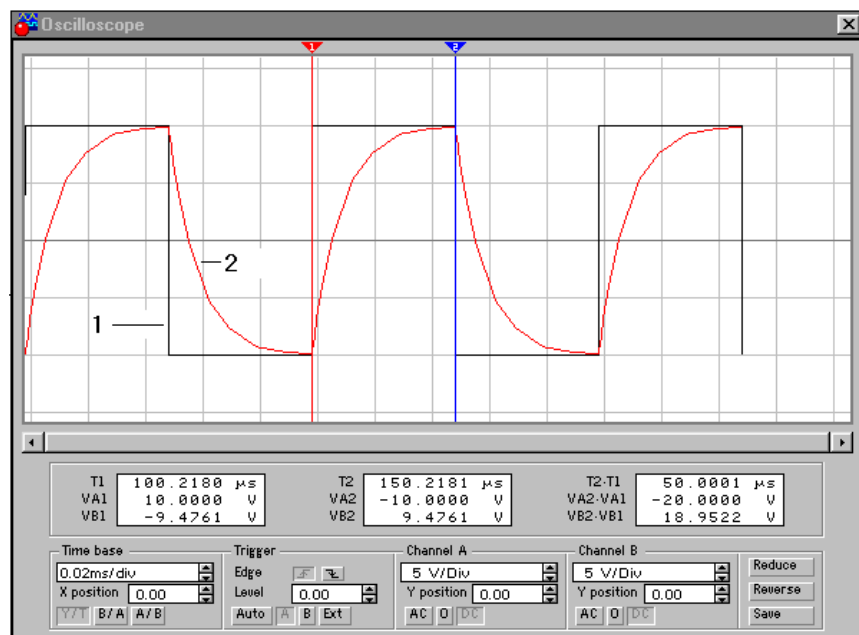


Рис. 52. Измерение параметров процессов

### Анализ результатов

Сравните расчетное значение тока через индуктивность с экспериментальными результатами.

### Содержание отчета

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Краткое изложение теоретической части.

3. Схемы всех исследованных в работе устройств.
4. Полученные результаты оформить в соответствии с требованиями, указанными в программе работы (в табличном, графическом или ином виде) с соответствующими расчетами и пояснениями.
5. Сделать выводы.

### Контрольные вопросы

1. Можно ли указать на схеме обозначения резисторов R1, R2, .. и т.д., как это сделать.
2. Если бы вам пришлось создать собственный элемент, выполняющий функции омметра, какие элементы EWB вы могли бы использовать.
3. Как влияют характеристики прибора на результат измерения.
4. При измерении сопротивления мультиметром в цепи создается некоторый ток, влияет ли величина этого тока на результат измерения.

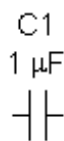
## Лабораторная работа № 6

### Емкость

Емкость – идеализированный элемент, способный запасать энергию электрического поля. Ток в емкости связан с напряжением на ее зажимах следующими соотношениями:

$$i = C \frac{du}{dt} \quad \text{или} \quad u(t_2) = u(t_1) + \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} i \, dt.$$

В EWB индуктивность находится в группе *Basic* и имеет следующее обозначение:



### Объекты исследования, оборудование, инструмент.

Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

### Подготовка к работе.

- Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 4).
- Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

### Порядок выполнения работы.

Соберите схему, представленную на рис. 53, и изучите влияние величины емкости на характер протекающих процессов.

Порядок выполнения аналогичен изложенному в работе № 5.

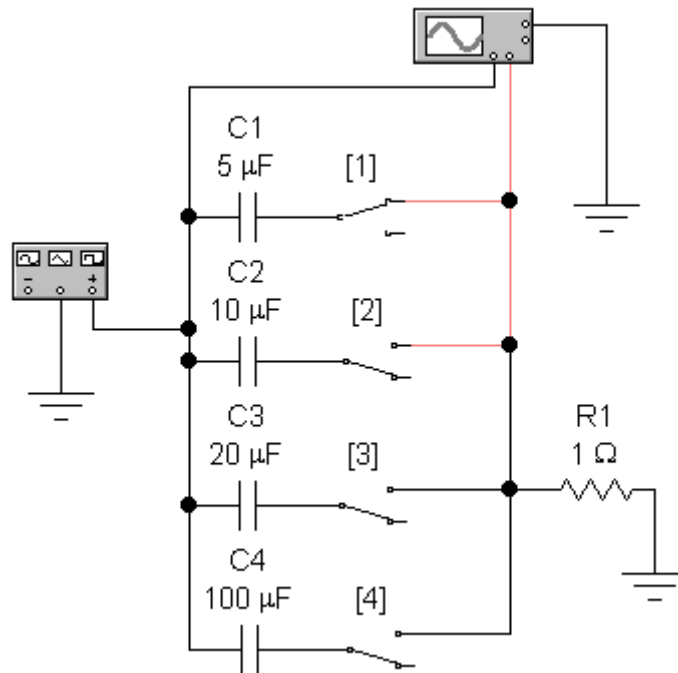


Рис. 53. Схема исследования емкости

### Анализ результатов

Проведите сравнительный анализ результатов, полученных для емкости и индуктивности (работа № 5).

### Содержание отчета

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Краткое изложение теоретической части.
3. Схемы всех исследованных в работе устройств.
4. Полученные результаты оформить в соответствии с требованиями, указанными в программе работы (в табличном, графическом или ином виде) с соответствующими расчетами и пояснениями.
5. Сделать выводы.

### Контрольные вопросы.

1. Для чего предназначена программа Electronics Workbench V5.12?
2. Какие электроизмерительные приборы использует программа Electronics Workbench V5.12?
3. С помощью каких приборов можно исследовать АЧХ?
4. С помощью каких приборов можно исследовать временные характеристики сигналов?
5. Какие виды электроизмерительных приборов, не включенных в программу Electronics Workbench V5.12, вы еще знаете?

## РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И СИГНАЛЫ

1. Цель и задачи лабораторных работ № 7 - № 10.



Изучение основных видов электрических схем и сигналов, приобретения навыков по исследованию электрических схем с помощью электроизмерительных приборов.

## 2. Теоретические сведения (для лабораторных работ № 7 - № 10).

### 1. Детерминированные радиотехнические сигналы

Термин «сигнал» происходит от латинского «signum» – знак и представляет собой физический процесс, изменяющийся во времени по закону передаваемого сообщения.

Для теоретического изучения и расчета сигналов создается математическая модель (ММ) исследуемого сигнала, что позволяет сравнивать сигналы между собой, выделять их основные свойства, проводить классификацию.

### 1.1 Классификация радиосигналов

#### 1.1.1. Детерминированные и случайные сигналы

*Детерминированный сигнал* – это сигнал, мгновенное значение которого в любой момент времени можно предсказать с вероятностью равной единице.

Примером детерминированного сигнала могут быть: последовательности импульсов (форма, амплитуда и положение во времени которых известны), непрерывные сигналы с заданными амплитудно-фазовыми соотношениями.

Способы задания ММ сигнала: аналитическое выражение (формула), осциллограмма, спектральное представление.

Пример ММ детерминированного сигнала.

$$s(t) = S_m \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

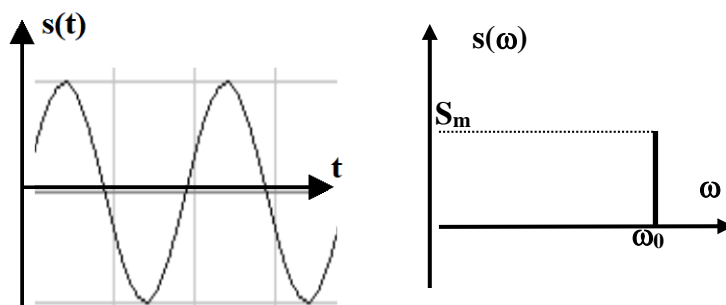


Рис. 1. Детерминированный (гармонический) синусоидальный сигнал (колебание)

*Случайный сигнал* – сигнал, мгновенное значение которого в любой момент времени заранее неизвестно, а может быть предсказано с некоторой вероятностью, меньше единицы.

Примером случайного сигнала может быть напряжение, соответствующее человеческой речи, музыке; последовательность радиоимпульсов на входе радиолокационного приемника; помехи, шумы.

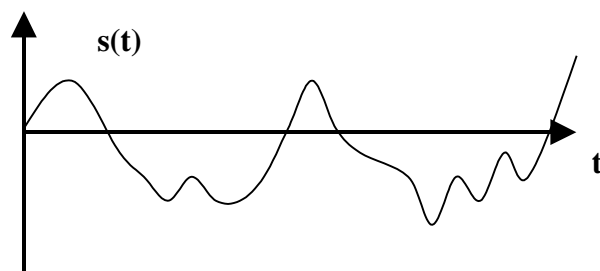


Рис. 2. Случайный процесс

### 1.1.2 Сигналы, применяемые в радиоэлектронике

*Непрерывные по величине (уровню) и непрерывные по времени (непрерывные или аналоговые) сигналы* – принимают любые значения  $s(t)$  и существуют в любой момент в заданном временном интервале.

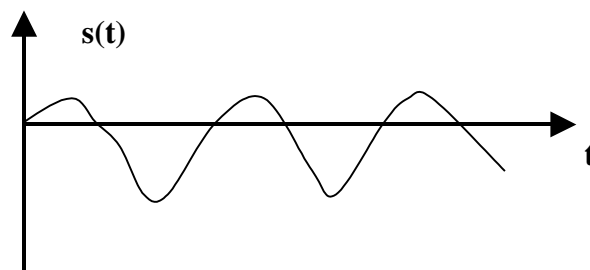


Рис. 3. Аналоговый сигнал

*Непрерывные по величине и дискретные по времени сигналы* заданы при дискретных значениях времени (на счетном множестве точек), величина сигнала  $s(t)$  в этих точках принимает любое значение в определенном интервале по оси ординат.

Термин «дискретный» характеризует способ задания сигнала на оси времени.

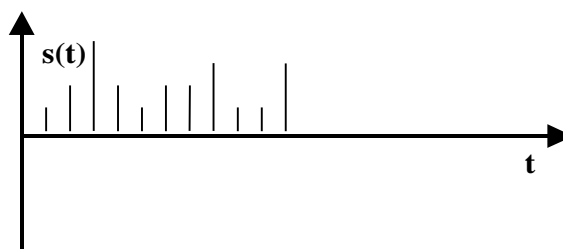


Рис. 4. Непрерывный по величине и дискретный по времени сигнал

*Квантованные по величине и непрерывные по времени сигналы* заданы на всей временной оси, но величина  $s(t)$  может принимать лишь дискретные (квантованные) значения.

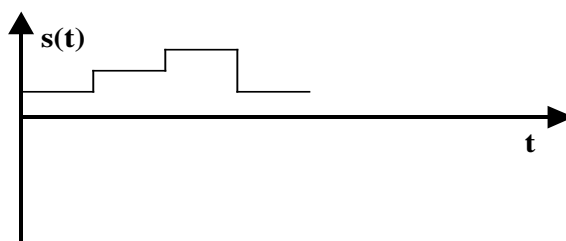


Рис. 5. Квантованный по величине и непрерывный по времени сигнал

*Квантованные по величине и дискретные по времени (цифровые) сигналы – передаются значения уровней сигнала в цифровой форме.*

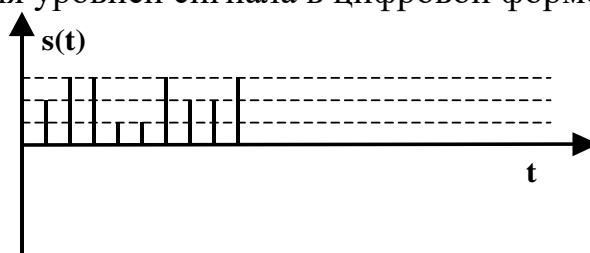


Рис. 6. Цифровой сигнал

### 1.1.3. Импульсные сигналы

*Импульс – колебание, существующее лишь в пределах конечного отрезка времени.*

*Пример Видеоимпульса (Рис. 7.):*

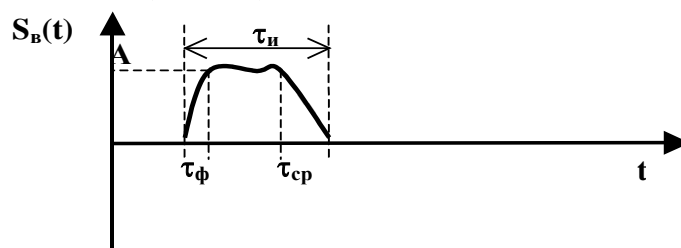


Рис. 7. Видеоимпульс

Для трапециидального видеоимпульса вводят параметры:

$A$  – амплитуда;

$\tau_{и}$  – длительность видеоимпульса;

$\tau_{ф}$  – длительность фронта;

$\tau_{ср}$  – длительность среза.

*Пример Радиопульса:*

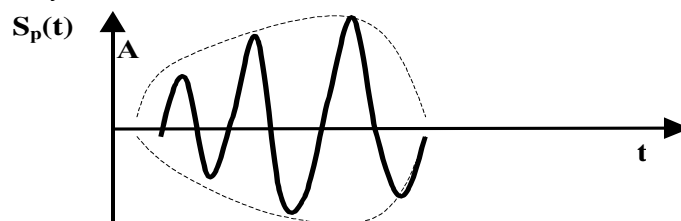


Рис. 8. Радиопульс

$$S_p(t) = S_b(t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$S_b(t)$  – видеоимпульс – огибающая для радиоимпульса.

$\sin(\omega_0 t + \varphi_0)$  – заполнение радиоимпульса.

#### 1.1.4 Специальные сигналы: функция включения и дельта-функция

*Функция включения (единичная функция или функция Хевисайда)*

Данная функция описывает процесс перехода некоторого физического объекта из «нулевого» в «единичное» состояние, причем этот переход совершается мгновенно.

$$\sigma(t) = 1(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 0.5, & t = 0 \\ 1, & t > 0 \end{cases} \quad (1)$$

С помощью функции включения удобно описывать разнообразные процессы коммутации в электрических цепях.

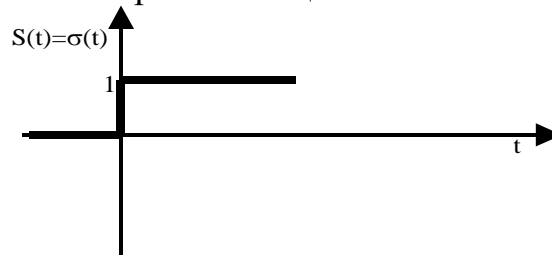


Рис. 9. Функция включения

*Дельта-функция (Функция Дирака).*

Дельта-функция является импульсом, длительность которого стремится к нулю, при этом высота импульса неограниченно возрастает. Принято говорить, что функция сосредоточена в этой точке.

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & t = 0 \\ 0, & t \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1 \quad (3)$$

## 1.2. Методы представления сигналов

В результате развития радиотехники и математического анализа была создана теория сигналов на основе функционального анализа, в котором сигнал представляется как вектор в специальном бесконечномерном линейном пространстве. Это дало возможность говорить о величине сигнала, проводить сравнительный анализ сигналов и т. д. Линейное множество сигналов

наделено специальной структурой, причем выбор структуры диктуется физическими соображениями (например, электрические сигналы складываются, умножаются и т. д.).

- В линейном пространстве сигналов вводится **координатный базис** (координатные оси). Вектора координатного базиса  $e_i$  линейно независимы, то есть выполняется соотношение:

$$\sum_i c_i \bullet e_i = 0 \quad (4)$$

Если дано разложение сигнала  $S(t)$  в виде:

$$S(t) = \sum_i c_i \bullet e_i \quad (5)$$

то числа  $C_i$  являются проекциями сигнала  $S(t)$  относительно выбранного базиса.

- **Норма.** Для количественной оценки сигналов в линейном пространстве сигналов вводится понятие нормы как длины сигнала:

для действительных аналоговых сигналов норма:

$$\|S(t)\| = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} S^2(t) dt} \quad (6)$$

для комплексных сигналов:

$$\|S(t)\| = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} S(t) S^*(t) dt} \quad (7)$$

для дискретных сигналов:

$$\|S(t)\| = \sqrt{\sum_{-\infty}^{\infty} S^2(t)} \quad (8)$$

Линейное пространство становится нормированным.

- **Энергия сигнала** – это квадрат нормы.

$$E_s = \|S\|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S^2(t) dt \quad (9)$$

- **Метрика.** Расстояние между сигналами в нормированном линейном пространстве называется метрикой. Обычно метрику определяют как норму разности двух сигналов:

$$\rho(u, v) = \|u - v\| \quad (10)$$

Зная метрику можно судить о том, насколько хорошо один из сигналов аппроксимирует другой. Линейное нормированное пространство становится метрическим.

- **Угол между двумя сигналами** метрического нормированного линейного пространства определяется из их скалярного произведения:

$$(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot v(t) dt \quad (11)$$

Косинус угла между сигналами:

$$\cos \Psi = \frac{(u, v)}{\|u\| \cdot \|v\|} \quad (12)$$

Линейное пространство с таким скалярным произведением называется Гильбертовым.

- **Ортогональные сигналы.** Два сигнала называются ортогональными, если их скалярное произведение (а также и взаимная энергия) равно нулю.

$$(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot v(t) dt = 0 \quad (13)$$

В Гильбертовом пространстве задается ортонормированный базис, для которого определяется соотношение:

$$(u_i, u_j) = \begin{cases} 1, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases} \quad (14)$$

Примером ортонормированного базиса может служить система тригонометрических функций с кратными частотами, дополненная постоянным сигналом.

- **Обобщенный ряд Фурье.** Произвольный сигнал  $S(t)$  в Гильбертовом пространстве можно разложить в обобщенный ряд Фурье в выбранном базисе:

$$S(t) = \sum_{i=0}^{\infty} C_i u_i(t) \quad (15)$$

где  $C_i$  – коэффициенты ряда, определяющиеся с учетом ортонормированности выбранного базиса (при  $i=k$ ):

$$C_k = \int_{t_1}^{t_2} S(t) \cdot u_k(t) dt \quad (16)$$

Геометрическая интерпретация:  $C_k$  – проекция вектора на базисное направление.

### 1.3. Спектральное представление сигналов

В радиотехнике в качестве базиса ортогональных функций берутся гармонические функции, что связано с простотой их генерации, а также с тем, что эти сигналы инвариантны относительно преобразований в стандартных электрических цепях.

**Спектральное разложение сигнала** – это представление сигнала в виде суммы гармонических колебаний с различными частотами.

**Частотный спектр (спектр)** – набор отдельных гармонических компонент сигнала.

1.3.1 Ряд Фурье для периодического сигнала (в ортонормированном базисе гармонических функций с учетом (15),(16)):

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_1 t + b_n \sin n\omega_1 t) \quad (17)$$

С коэффициентами:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S(t) dt \quad (18)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S(t) \cos n\omega_1 t dt \quad (19)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S(t) \sin n\omega_1 t dt \quad (20)$$

В общем случае периодический сигнал содержит постоянную составляющую и бесконечный набор гармонических колебаний – гармоник, с частотами  $\omega_n = n\omega_1$ ,  $n = 0, 1, \dots$  кратными основной частоте  $\omega_1$  последовательности. Четный сигнал имеет только косинусоидальные составляющие, нечетный сигнал – синусоидальные.

Каждую гармонику можно описать ее амплитудой  $A_n$  и начальной фазой  $\varphi_n$ . Тогда коэффициенты ряда Фурье:

$$\begin{aligned} a_n &= A_n \cos \varphi_n \\ b_n &= A_n \sin \varphi_n \\ A_n &= \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \\ \operatorname{tg} \varphi_n &= \frac{b_n}{a_n} \end{aligned} \quad (21)$$

и эквивалентная форма ряда Фурье:

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos(n\omega_1 t - \varphi_n)) \quad (22)$$

**Спектральная диаграмма** периодического сигнала – это графическое изображение коэффициентов ряда Фурье для конкретного сигнала.

Спектральные диаграммы бывают амплитудные и фазовые. По горизонтальной оси диаграмм в масштабе откладываются частоты гармоник, а по вертикальной – их амплитуды или начальные фазы.

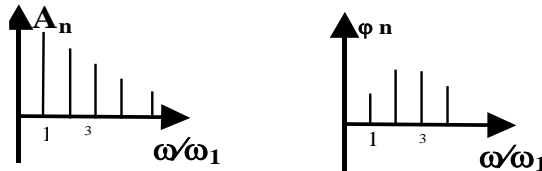


Рис. 11. Амплитудная и фазовая диаграммы периодического сигнала

1.3.2. Комплексная форма ряда Фурье Спектральное разложение периодического сигнала можно провести в системе базисных функций, состоящих из экспонент с мнимыми показателями. Функции этого базиса периодичны с периодом  $T$  и ортонормированны на отрезке времени  $[-T/2, T/2]$ . Тогда комплексный ряд Фурье с учетом нормы комплексного сигнала:

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega_1 t} \quad (23)$$

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S(t) e^{-jn\omega_1 t} dt$$

При вычислениях нужно учитывать связь экспоненциальных функций с тригонометрическими:

$$e^{-jn\omega_1 t} = \cos n\omega_1 t - j \sin n\omega_1 t \quad (24)$$

$$\cos n\omega_1 t = \frac{e^{jn\omega_1 t} + e^{-jn\omega_1 t}}{2} \quad (25)$$

$$j \sin n\omega_1 t = \frac{e^{jn\omega_1 t} - e^{-jn\omega_1 t}}{2} \quad (26)$$

В случае экспоненциального представления спектр сигнала будет содержать гармоники в отрицательной области на оси частот, при этом нужно учитывать, что отрицательная частота это не физическое, а математическое понятие, определяемое представлением комплексных чисел.

### 1.3.3. Спектральное представление непериодических сигналов

Пусть существует одиночный импульсный сигнал  $S(t)$  конечной длительности. Мысленно дополним его такими же сигналами, периодически



следующими через некоторые интервалы времени –  $T$ . В результате получим периодическую последовательность  $S_{\text{пер}}(t)$ , которую можно представить в виде ряда Фурье (23).

Для перехода к одиночному импульсу увеличим до бесконечности период повторения импульсов –  $T$ . При этом:

1). Частоты  $n\omega_1$  и  $(n+1)\omega_1$  окажутся сколь угодно близкими и поэтому дискретную переменную  $n\omega_1$  можно заменить непрерывной –  $\omega$  – текущей частотой.

2). Амплитудные коэффициенты  $C_n$  станут бесконечно малыми (стремящимися к нулю) из-за наличия  $T \rightarrow \infty$  в знаменателе.

3). Рассмотрим интервал частот  $\Delta\omega \rightarrow 0$  в окрестностях некоторой частоты  $\omega_0$ . В пределах этого интервала будет содержаться  $N$  отдельных пар спектральных составляющих, частоты которых будут отличаться друг от друга сколь угодно мало ( $N = \Delta\omega/\omega_1 = \Delta\omega T/2\pi$ ).

4). В результате указанных предположений спектральные составляющие можно складывать так, как будто они имеют одну и ту же частоту и характеризуются одинаковыми комплексными амплитудами. Комплексная амплитуда эквивалентного гармонического сигнала внутри интервала  $\Delta\omega$ :

$$\Delta A \omega_0 = \frac{2N}{T} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j\omega_0 t} dt = \frac{\Delta\omega}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j\omega_0 t} dt \quad (27)$$

Причем величина:

$$\int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j\omega t} dt = S(\omega) \quad (28)$$

называется спектральной плотностью сигнала  $S(t)$  (спектральной функцией или преобразованием Фурье данного сигнала).

С точки зрения физического смысла спектральная плотность  $S(\omega_0) = S(2\pi f_0)$  – масштабный множитель, связывающий малую длину интервала частот  $\Delta f$  и отвечающую ему комплексную амплитуду  $\Delta A_{f_0}$  гармонического сигнала на центральной частоте  $f_0$ .

При решении обратной задачи, то есть нахождения сигнала по его спектральной плотности, необходимо воспользоваться обратным преобразованием Фурье для сигнала  $S(t)$ :

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} s(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (29)$$

Условие существования спектральной плотности сигнала: для того, чтобы сигналу  $S(t)$  можно было бы сопоставить его спектральную плотность  $S(\omega)$ , необходимо, чтобы сигнал был абсолютно интегрируем, то есть, чтобы существовал интеграл:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |s(t)| dt < +\infty \quad (30)$$

Кратко изложенная теория спектрального анализа сигналов позволяет анализировать прохождение сигналов через радиотехнические цепи, устройства, системы.

## 1.4. Модулированные сигналы

Сигналы, поступающие из источника сообщений (микрофона, передающей телевизионной камеры и т. д.), как правило, не могут быть переданы по радиоканалу на большие расстояния. Данное обстоятельство связано с тем, что эти сигналы являются низкочастотными и маломощными.

При передаче по радиоканалу необходимо спектры этих сигналов перенести из низкочастотной области в область более высоких частот (радиочастот). Данная процедура в радиотехнике носит название модуляции.

Остановимся более подробно на понятии **несущего колебания**. Несущее или высокочастотное колебание генерируется в передающем устройстве. В радиотехнике широкое распространение получили системы модуляции, в которых в качестве несущего используется простое гармоническое колебание  $s(t) = S_m \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ . В результате изменения во времени одного из параметров несущего колебания (амплитуды, частоты, фазы) по закону передаваемого сообщения, несущее колебание приобретает новое свойство – нести в себе информацию, которая первоначально была заложена в сообщении.

То есть, **модуляция** – процесс изменения одного из параметров (амплитуды, частоты, фазы) высокочастотного (несущего) колебания по закону управляющего низкочастотного колебания.

**1.4.1. Амплитудная модуляция (АМ)** Процесс изменения во времени амплитуды несущего колебания по закону управляющего при неизменных частоте и фазе называется амплитудной модуляцией несущего колебания.

Аналитическое представление АМ сигнала:

$$S_{AM}(t) = S(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (31)$$

Иначе говоря, АМ – сигнал – это произведение огибающей  $S(t)$  и гармонического заполнения  $\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ , причем на практике огибающая изменяется во времени гораздо медленнее, чем заполнение.

Осциллограмма АМ – сигнала симметрична относительно горизонтальной оси.

Связь между несущей и огибающей в АМ – сигнале определяется в общем виде как:

$$S_{AM}(t) = S(t)[1 + MS_{упр}(t)] \quad (32)$$

где  $S(t)$  – амплитуда несущего колебания без модуляции,  $M$  – коэффициент модуляции,  $S_{упр}(t)$  – управляющее колебание.

Величина  $M$  определяет глубину амплитудной модуляции. При малой глубине относительное изменение величины огибающей невелико:  $MS_{упр}(t) \ll 1$ . Применение АМ – сигналов с малой глубиной модуляции нецелесообразно по причине неполного использования мощности передатчика.

При увеличении глубины модуляции до  $MS_{упр}(t) > 1$  возникает перемодуляция, то есть искажается форма модулирующего сигнала.

*Однотональная амплитудная модуляция* – это частный случай АМ, когда управляющим является также гармоническое колебание с частотой  $\Omega < \omega$ . Пример осциллограмм однотонального АМ – колебания при  $MS_{упр}(t) = 1$  (Рис.12),  $MS_{упр}(t) > 1$  (Рис.13).

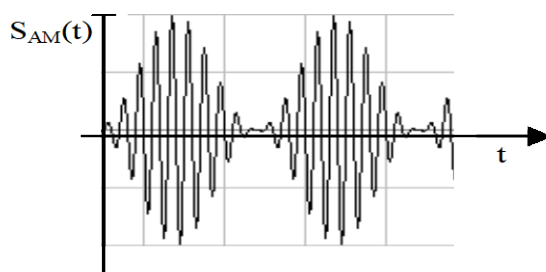


Рис. 12. Осциллограмма однотонального АМ колебания при  $MS_{упр}(t) = 1$

1.4.2. Угловая модуляция – по закону управляющего колебания изменяется частота или фаза несущего, а амплитуда остается неизменной.

Для гармонического колебания  $s(t) = S_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = S_m \sin \psi(t)$  набег фазы за какой-либо конечный промежуток времени от  $t=t_1$  до  $t=t_2$  равен  $\psi(t_2) - \psi(t_1) = (\omega_0 t_2 + \varphi_0) - (\omega_0 t_1 + \varphi_0) = \omega_0(t_2 - t_1)$ . При постоянной угловой частоте набег фазы за какой-либо промежуток времени пропорционален длительности этого промежутка.

Угловую частоту можно определить как  $\omega_0 = \{\psi(t_2) - \psi(t_1)\} / \{t_2 - t_1\}$ , то есть угловая частота – это скорость изменения фазы колебания.

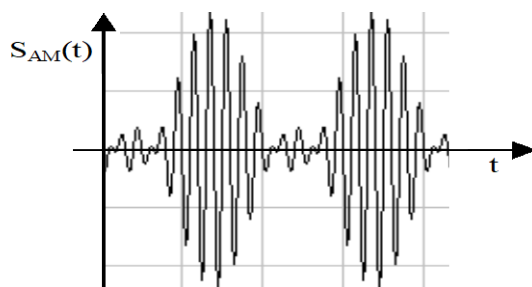


Рис. 13. Осциллограмма однотонального АМ колебания при  $MS_{упр}(t) = 1.4$

Переходя к сложному колебанию, частота которого может изменяться во времени необходимо перейти к дифференциальным и интегральным соотношениям:

$$\psi(t_2) - \psi(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt \quad (33)$$

$$\omega(t) = \frac{d\psi(t)}{dt} \quad (34)$$

Из (33), (34) следует, что полная фаза высокочастотного колебания в момент  $t$ :

$$\psi(t) = \int_0^t \omega(t) dt + \varphi_0 \quad (35)$$

Итак, в общем виде выражение для высокочастотного колебания, амплитуда которого постоянна, а аргумент  $\psi(t)$  модулирован:

$$S(t) = S_0 \sin(\omega_0 t + \psi(t) + \psi_0) \quad (36)$$

Соотношения (34), (35), устанавливающие связь между изменениями частоты и фазы, указывают на общность двух разновидностей угловой.

Рассмотрим пример простейшей гармонической ЧМ, когда мгновенная частота определяется как:

$$\omega(t) = \omega_0 + \omega_D \cos \Omega t \quad (37)$$

где  $\omega_D = 2\pi f_D$  – амплитуда частотного отклонения или девиация частоты (или просто девиация);  $\omega_0$  – несущая,  $\Omega$  – модулирующая частоты.

Подставим (37) в (35):

$$\psi(t) = \int_0^t (\omega_0 + \omega_D \cos \Omega t) dt + \varphi_0 \quad (38)$$

Проинтегрировав, подставим в (36):

$$S(t) = S_0 \sin(\omega_0 t + (\frac{\omega_D}{\Omega} \sin \Omega t) + \psi_0) \quad (39)$$

Полученное модулированное колебание можно рассматривать и как модулированное по фазе, закон этой модуляции является интегральным по отношению к закону изменения частоты.

Таким образом, модуляция частоты несущего колебания по закону  $\omega_D \cos \Omega t$  приводит к модуляции фазы по закону  $(\omega_D / \Omega) \sin \Omega t$ . Амплитуду изменения фазы называют индексом угловой модуляции (40).

$$m = \frac{\omega_D}{\Omega} \quad (40)$$

Пример осциллограммы с однотоновой ЧМ.

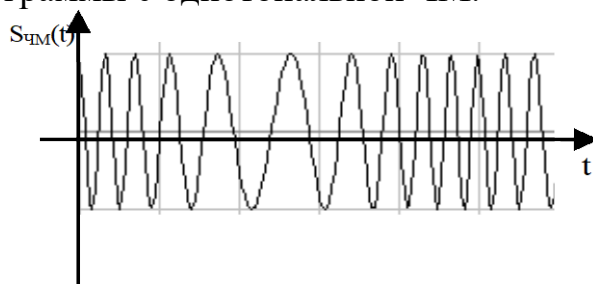


Рис. 14. Осциллограмма однотонового ЧМ колебания

## Практическая часть

### Лабораторная работа №7 Исследование периодических сигналов

**Цель работы:** Изучение аналитического, временного и спектрального представления сигналов в радиотехнике.

**Объекты исследования, оборудование, инструмент.**  
Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

**Подготовка к работе.**  
-Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 57).  
-Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

### Задания и порядок выполнения работы.

#### 1. Исследование гармонического колебания

**Задание № 1.** Провести теоретическое исследование математической модели (ММ) гармонического сигнала.

1. Записать ММ гармонического сигнала (аналитическое представление).
2. Построить осциллограмму и теоретически рассчитанный по формулам (17-20) амплитудный спектр сигнала (в масштабе по осям). Если частота сигнала определяется как  $F=N$  кГц, где  $N$  номер Вашего варианта. Амплитуда сигнала равна  $N$  вольт.

**Задание № 2.** Провести компьютерное моделирование временного описания (осциллограммы) ММ гармонического сигнала.

1. Собрать в программном пакете **Electronics Workbench** схему исследования (см. Рис.15).

2. От генератора на резистивную нагрузку ( $R_H=10\text{ Ом}$ ) подать гармонический (синусоидальный сигнал).

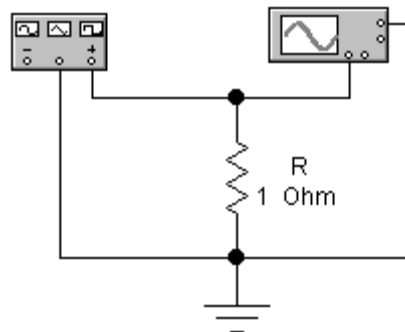


Рис. 15. Схема исследования периодических сигналов

3. Временное описание ММ сигнала (осциллограмму) распечатать (зарисовать) с осциллографа с указанием масштабов по осям. На генераторе частоту исследуемых сигналов установить  $F=N$  кГц, амплитуду сигнала установить равной  $N$  вольт.

**Задание № 3.** Провести компьютерное моделирование спектрального описания ММ гармонического сигнала.

1. Используя меню **Analysis\Fourier** (Рис.16), получить спектр исследуемого сигнала (для схемы Рис.15). В диалоговой панели установки параметров Фурье-анализа частоту основной гармоники (**Fundamental frequency**) установить равной  $N$  кГц. Число исследуемых гармоник **10....20**, линейный (**Linear**) масштаб по вертикальной оси (область **Result**, поле **Vertical scale**).

2. Распечатать (зарисовать) амплитудный спектр исследуемого сигнала.

**Задание № 4.** Сравнительный анализ результатов теоретического расчета и компьютерного моделирования ММ гармонического сигнала.

1. Провести сравнительный анализ теоретических расчетов и результатов моделирования с помощью программного пакета **Electronics Workbench**.

2. На основании анализа письменно сформулировать выводы.

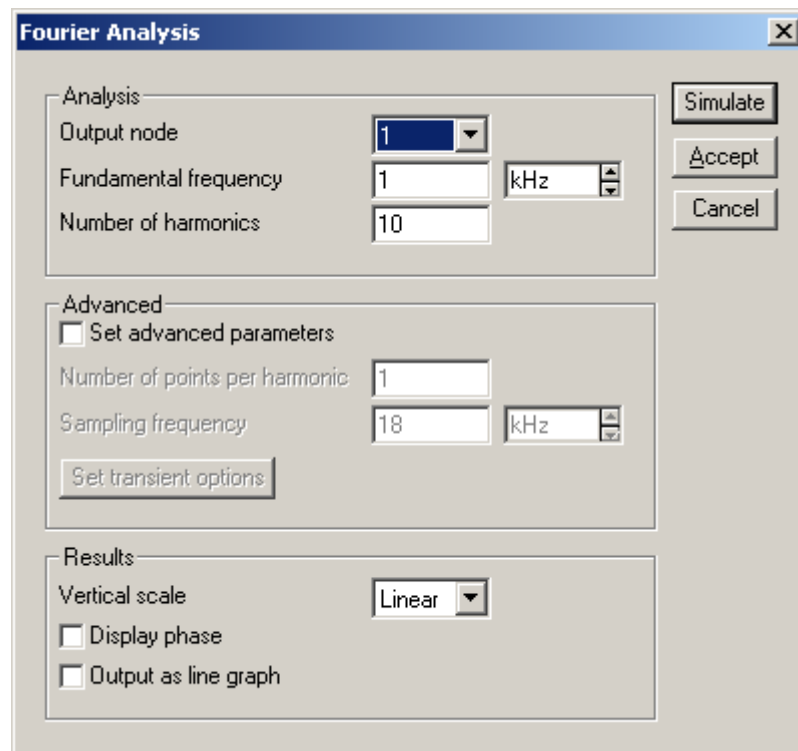


Рис. 16. Окно выбора параметров для Фурье-анализа сигнала

## 2. Исследование последовательности положительных прямоугольных видеоимпульсов

Методика выполнения заданий аналогична пункту 1 с учетом рекомендаций:

**Задание № 1.** Частота следования видеоимпульсов в последовательности равна  $F = N \text{ кГц}$ , длительность импульса составляет **20%** от длительности периода повторения. Амплитуда сигнала равна **N вольт**.

**Задание № 2.** Длительность прямоугольного импульса в генераторе установить равной **20%** от длительности периода (**Duty cycle = 20**).

Параметр смещение (**Offset = N**).

(Задания № 3, № 4 выполняются см. пункт 1.).

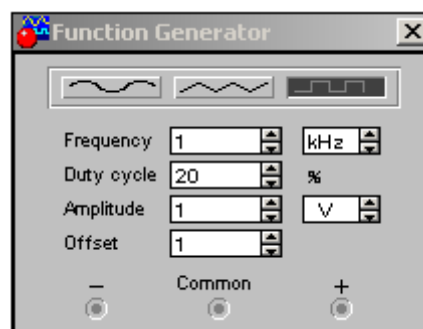


Рис. 17. Окно выбора параметров исследуемого сигнала

### **3. Исследование последовательности положительных треугольных видеоимпульсов**

Методика выполнения заданий аналогична пункту 2, только длительность треугольного импульса в генераторе установить равной **50%** от длительности периода (**Duty cycle =50**).

#### **Отчет должен содержать:**

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Теоретический расчет и результаты по первому заданию.
4. Результаты моделирования.
5. Сравнительный анализ результатов.
6. Выводы.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Дать определение сигнала, ММ сигнала, частотного спектра сигнала.
2. Обосновать возможность представления любого периодического сигнала в виде бесконечного ряда гармонических колебаний.
3. Указать влияние зависимости спектра сигнала от амплитуды, смещения, частоты и длительности прямоугольных импульсов.

### **Лабораторная работа № 8**

#### **Синтез последовательности прямоугольных видеоимпульсов**

**Цель работы:** Синтезировать последовательность прямоугольных положительных видеоимпульсов суммированием нескольких первых гармоник ряда Фурье.

#### **Объекты исследования, оборудование, инструмент.**

Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

#### **Подготовка к работе.**

- Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 57).
- Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

#### **Задания и порядок выполнения работы.**

**Задание № 1.** *Провести теоретическое исследование ММ последовательности положительных видеоимпульсов.*

1. Записать ММ сигнала (аналитическое описание).



2. Построить осциллограмму, рассчитать по формулам (17–20) и построить спектр исследуемого сигнала. Частота следования видеоимпульсов в последовательности равна  $F = N$  кГц, длительность импульса составляет **50%** от длительности периода повторения. Амплитуда сигнала равна **N вольт**.

**Задание № 2.** Провести компьютерное моделирование синтеза последовательности положительных видеоимпульсов гармониками ряда Фурье.

1. Собрать схему исследования (Рис.18).

2. Синтезировать прямоугольные видеоимпульсы, суммируя несколько первых гармоник ряда Фурье. Для этого включить в схему исследования дополнительный резистор с аналогичным сопротивлением  $R = 1$  Ом и последовательно с ним соединить генератор постоянного напряжения и 3 генератора, вырабатывающих первую и несколько высших гармоник ряда с различными амплитудами и начальными фазами. Фаза гармонического колебания задается в свойствах генераторов в поле **Deg**. Амплитуда и частота генерируемых колебаний в генераторах выставляется самостоятельно на основе проведенных теоретических расчетов.

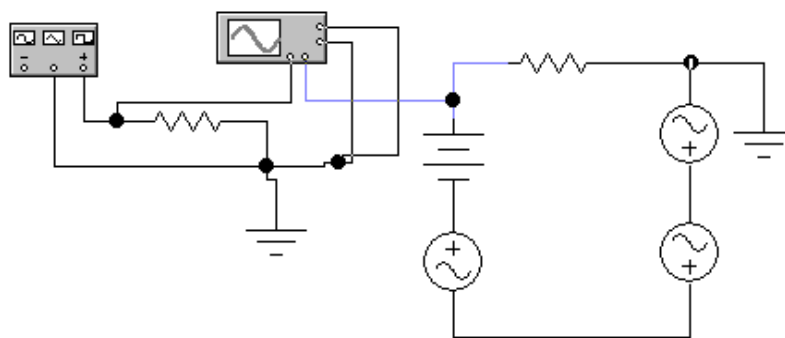


Рис. 18. Схема синтеза последовательности положительных прямоугольных видеоимпульсов

3. Зарисовать (напечатать) полученные осциллограммы с указанием масштабов по осям.

4. Увеличить количество генераторов в схеме до 5, параметры генерируемых колебаний также взять из теоретического расчета ряда Фурье. Зарисовать осциллограммы.

5. Провести сравнительный анализ осциллограмм, сделать выводы.

**Задание № 3.** Сравнительный анализ результатов теоретического расчета и компьютерного моделирования синтеза периодической последовательности положительных прямоугольных видеоимпульсов суммированием гармоник ряда Фурье.

1. Провести сравнительный анализ теоретических расчетов и результатов моделирования с помощью программного пакета **Electronics Workbench**.

2. На основании анализа письменно сформулировать выводы.

3. Отчет представить преподавателю.

### **Контрольные вопросы:**

1. Указать отличие ММ видеоимпульса от ММ радиоимпульса.
2. Обосновать возможность представления периодической последовательности видеоимпульсов суммой нескольких гармонических колебаний с различными параметрами (амплитудой, частотой, начальной фазой).
3. Указать влияние числа гармоник на форму синтезированного колебания. (Как влияет увеличение числа гармоник на прямоугольность импульса?).

### **Содержание отчета**

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Краткое изложение теоретической части.
3. Электрическая схема с которой производилась работа.
4. Графики, полученные в ходе работы.
5. Необходимые вычисления и выводы.
6. Ответы на контрольные вопросы.

## **Лабораторная работа № 9**

### **Исследование спектров амплитудно-модулированных сигналов**

**Цель работы:** Исследовать амплитудно-модулированные (АМ) сигналы: аналитическое, временное и спектральное описание ММ сигнала.

### **Объекты исследования, оборудование, инструмент.**

Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

### **Подготовка к работе.**

- Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 57).
- Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

### **Задания и порядок выполнения работы.**

**Задание № 1.** *Провести теоретическое исследование ММ АМ сигналов.*

1. Записать ММ сигнала.
2. Построить осциллограмму, рассчитать по формулам (17–20) и построить спектр. Амплитуда несущего колебания равна **2** вольта. Частота несущего колебания  **$F = 10\text{Н кГц}$** . Частоту модуляции выбрать  **$F = 2\text{Н кГц}$** .

**Задание № 2.** *Провести компьютерное моделирование АМ сигналов.*

1. Собрать схему (Рис.19): к резистивной нагрузке подключить источник АМ – сигнала.

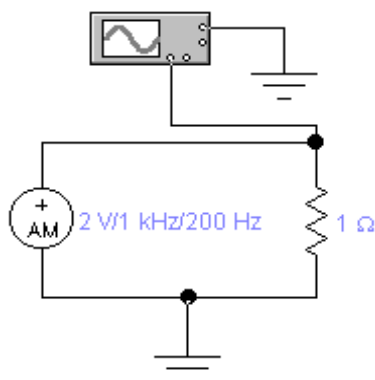


Рис. 19. Схема исследования амплитудно-модулированных колебаний

2. Амплитуду несущего колебания (несущей) – (**Carrier Amplitude**) установить равной **2 В** (Рис.20), частоту несущей (**Carrier frequency**) этого колебания выбрать равной  **$F = 10\text{N}$  кГц**. Частоту модуляции (**Modulation frequency**) установить равной  **$F/5$** , а коэффициент АМ (**Modulation index**) = **1**.

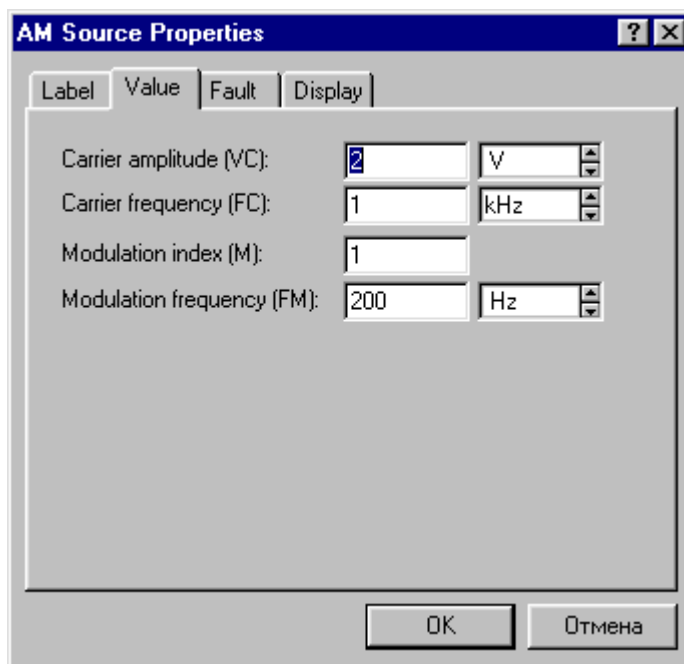


Рис. 20. Окно выбора параметров источника АМ – колебаний

3. Форму сигнала проконтролировать с помощью осциллографа. Зарисовать (распечатать) осциллограмму АМ – сигнала с указанием масштабов по осям.

4. Используя меню **Analysis\Fourier**, получить спектр АМ – сигнала.

5. В диалоговой панели установки параметров Фурье – анализа частоту основной гармоник (**Fundamental Frequency**) установить равной частоте модуляции ( **$F/5$** ), число исследуемых гармоник: **20–40**, линейный (**Linear**) масштаб по вертикальной оси.

6. Зарисовать (распечатать) амплитудный спектр исследуемого сигнала.

**Задание № 3.** *Исследование влияния коэффициента и частоты модуляции на осциллограмму и спектр сигнала.*

1. Выполнить задание № 2 при:
  - уменьшении и увеличении коэффициента модуляции,
  - увеличении и уменьшении частоты модуляции.
2. Исследовать 4–5 случаев (зарисовать осциллограммы и спектр).
3. Сделать выводы о влиянии указанных параметров на осциллограмму и спектр.

**Задание № 4.** *Сравнительный анализ результатов теоретического расчета и компьютерного моделирования амплитудно-модулированных сигналов.*

1. Провести сравнительный анализ теоретических расчетов и результатов моделирования с помощью программного пакета **Electronics Workbench**.
2. На основании анализа письменно сформулировать выводы.
3. Отчет представить преподавателю.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Дать определение амплитудной модуляции, однотоновой модуляции.
2. Указать влияние изменения частоты и амплитуды несущего и управляющего колебаний на спектр АМ сигнала.
3. Дать определение коэффициента модуляции.
4. Указать его влияние на осциллограмму и спектр АМ сигнала. Зарисовать осциллограмму АМ сигнала в случае перемодуляции (при коэффициенте модуляции больше 1).

#### **Содержание отчета**

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Краткое изложение теоретической части.
3. Электрическая схема с которой производилась работа.
4. Графики, полученные в ходе работы.
5. Необходимые вычисления и выводы.
6. Ответы на контрольные вопросы.

### **Лабораторная работа № 10**

#### **Исследование спектров частотно-модулированных сигналов**

**Цель работы:** Исследовать частотно-модулированные (ЧМ) сигналы: аналитическое, временное и спектральное описание ЧМ сигнала.

**Объекты исследования, оборудование, инструмент.**

Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

**Подготовка к работе.**

- Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 57).
- Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

### Задания и порядок выполнения работы.

**Задание № 1.** Провести теоретическое исследование ММ ЧМ сигналов.

1. Записать ММ сигнала.
2. Построить осциллограмму, рассчитать по формулам (17–20) и построить спектр. Амплитуда несущего колебания равна **1** вольт. Частота несущего колебания  **$F = 10\text{N}$  кГц**. Частоту модуляции выбрать  **$F = 2\text{N}$  кГц**.

**Задание № 2.** Провести компьютерное моделирование ЧМ сигналов.

1. Собрать схему (Рис.21). Амплитуду несущего колебания (несущей) – (**Carrier Amplitude**) установить равной **1 В**, частоту несущей (**Carrier frequency**) этого колебания выбрать равной  **$F = 10\text{N}$  кГц**. Частоту модуляции (**Modulation frequency**) установить равной  **$F/5$** , а коэффициент ЧМ (**Modulation index**) = **2.41**.

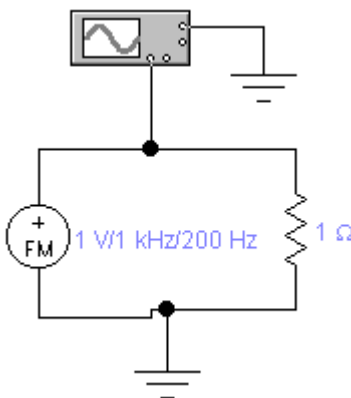


Рис. 21. Схема исследования частотно-модулированных колебаний

2. Форму сигнала проконтролировать с помощью осциллографа. Зарисовать (распечатать) осциллограмму ЧМ – сигнала с указанием масштабов по осям.
3. Используя меню **Analysis\Fourier**, получить спектр ЧМ – сигнала.
4. В диалоговой панели установки параметров Фурье – анализа частоту основной гармоник (**Fundamental Frequency**) установить равной частоте модуляции ( **$F/5$** ), число исследуемых гармоник: **20–40**, линейный (**Linear**) масштаб по вертикальной оси.
5. Зарисовать (распечатать) спектр исследуемого сигнала.

**Задания № 3–4** выполняются аналогично работе № 3.

### Контрольные вопросы:

1. Дать определение частотной модуляции.

2. Указать влияние изменения частоты и амплитуды несущего и управляющего колебаний на спектр ЧМ сигнала.
3. Провести сравнительный анализ АМ и ЧМ сигналов.
4. Указать достоинства и недостатки АМ и ЧМ сигналов.

### **Содержание отчета**

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Краткое изложение теоретической части.
3. Электрическая схема с которой производилась работа.
4. Осциллограмма сигнала на входе и выходе схемы с указанием частоты, амплитуды, (скважности импульсов).
5. Необходимые вычисления и выводы.
6. Ответы на контрольные вопросы.

## **РАЗДЕЛ 3. ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

1. Цель и задачи лабораторных работ № 11 - № 14.

Изучение основ радиоизмерений, приобретение навыков по исследованию электрических схем с помощью электроизмерительных приборов.

2. Теоретические сведения (для лабораторных работ № 11 - № 14).

### **1. Основы метрологии (радиоизмерений)**

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Радиоизмерения – область метрологии, изучающая методы и средства измерения электрических величин.

Основным объектом исследования является электрический сигнал, поэтому можно выделить две группы измеряемых в радиоэлектронике физических величин:

- характеристики и параметры сигналов,
- характеристики и параметры цепей, преобразующих сигналы.

В соответствии с ГОСТ 16263-70 «Государственная система обеспечения единства измерений. Термины и определения.»:

Измерение – процесс нахождения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств – средств измерений.

Результат измерения – значение физической величины, найденной путем ее измерения.

Физическая величина – свойство, общее в качественном отношении для множества объектов, физических систем, их состояний и происходящих в них процессов, но индивидуальное в количественном отношении каждого из них.

Истинное значение физической величины – значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта. Экспериментально определить его невозможно из-за неизбежных погрешностей.

Погрешность – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Действительное значение физической величины – значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближенное к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Измеряемые физические величины можно выразить количественно в виде определенного числа установленных единиц измерения.

В России действует ГОСТ 8.417-81 «Единицы физических величин», устанавливающий Международную систему единиц **СИ** (System International), утвержденную в 1960 году XI Генеральной конференцией по мерам и весам.

В основу этой системы положены 7 основных и 2 дополнительные единицы:

- основные:

<i>длины – метр,</i>	<i>силы электрического тока – Ампер,</i>
<i>массы – килограмм,</i>	<i>термодинамической температуры – Кельвин,</i>
<i>времени – секунда,</i>	<i>количества вещества – моль,</i>
<i>силы света – кандела,</i>	

- дополнительные:

<i>плоского угла – радиан,</i>	<i>телесного угла – стерадиан.</i>
--------------------------------	------------------------------------

## **2. Классификация измерений и средств измерений**

По способу получения результата измерения различают :

- прямые – измерения, когда искомое значение физической величины находится непосредственно из опытных данных.

Математически прямые измерения можно определить:

$$A = x \quad (1)$$

где  $A$  – значение измеряемой физической величины,  $x$  – значение величины, найденное путем измерения.

- косвенные – измерения, при которых искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и измеряемыми прямыми измерениями величинами.

Математически косвенные измерения можно определить:

$$A = f(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (2)$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_m$  – результаты прямых измерений величин, связанных известной функциональной зависимостью  $f$  с искомым значением измеряемой величины  $A$ .

Средством измерений называется техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики.

По назначению средства измерений разделяют на:

<i>меры,</i>	<i>измерительные</i>
	<i>установки,</i>
<i>измерительные</i>	<i>измерительные</i>
<i>приборы,</i>	<i>системы.</i>
<i>измерительные</i>	
<i>преобразователи,</i>	

Измерительный прибор – средство измерения, предназначенное для выработки определенного вида сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Измерительные приборы, применяемые в радиоэлектронике, характеризуются следующими основными показателями:

Диапазон измерений – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности измерительного прибора.

Диапазон показаний – размеченная область шкалы, ограниченная ее начальными ( $x_{\min}$ ) и конечным ( $x_{\max}$ ) значениями измеряемой величины.

Область рабочих частот (диапазон частот) – полоса частот, в пределах которой погрешность прибора, полученная при измерении частоты сигнала, не превышает допускаемого предела.

Чувствительность по избираемому параметру – отношение измерения сигнала на выходе измерительного прибора к вызвавшему его изменению измеряемой величины.

Различают:

- *абсолютную чувствительность*

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (3)$$

- *относительную чувствительность*



$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x / x} \quad (4)$$

где  $\Delta y$  – изменение сигнала на выходе,  $x$  – измеряемая величина,  $\Delta x$  – изменение измеряемой величины.

**Предельная чувствительность** (по току, напряжению, мощности) – минимальная величина исследуемого сигнала, подаваемого на вход прибора, которая необходима для получения отсчета с погрешностью, не превосходящей допустимую.

**Быстродействие (скорость измерений)** – максимальное число измерений в единицу времени, выполняемых с нормированной погрешностью.

**Входное сопротивление** (полное  $Z_{вх}$ ) – сопротивление измерительного прибора со стороны входных его зажимов.

**Выходное сопротивление** ( $Z_{вых}$ ) – сопротивление измерительного прибора со стороны выходных зажимов, определяющее допустимую нагрузку прибора.

**Собственная потребляемая мощность** ( $P_{соб}$ ) от измеряемой цепи (чем меньше  $P_{соб}$ , тем точнее измерения).

**Погрешности измерительных приборов** (инструментальные погрешности).

### **3. Погрешности измерений и их классификация**

Результат измерения всегда отличается истинного значения измеряемой физической величины, то есть, находится с некоторой погрешностью.

Источниками погрешности являются:

- *несовершенство применяемых методов, средств измерений;*
- *внешние и внутренние помехи;*
- *климатические условия;*
- *порог чувствительности измерительных приборов;*
- *индивидуальные особенности экспериментатора.*

Рассмотрим некоторые признаки, по которым классифицируются погрешности измерения:

**1) по способу количественного выражения** погрешности делятся на абсолютные, относительные, приведенные.

- **абсолютной погрешностью  $\Delta$** , выражаемой в единицах измеряемой величины, называют отклонение результата измерения  $x$  от истинного значения  $x_{и}$ .

$$\Delta = x - x_{и} \quad (5)$$

- для сравнения качества (точности) измерений вводится понятие относительной погрешности.

**Относительная погрешность  $\delta$**  – отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины.

$$\delta = \frac{\Delta}{x_u} \quad (6)$$

Часто  $\delta$  выражают в % ( $\delta \cdot 100$ ).

- Для сравнения различных приборов используют понятие приведенной погрешности.

**Приведенная погрешность  $\delta_{np}$** , выражающая потенциальную точность измерений – это отношение абсолютной погрешности  $\Delta$  к некоторому нормирующему значению  $X_N$  (например, к конечному значению шкалы прибора).

$$\delta_{np} = \frac{100 \cdot \Delta}{X_N} \quad (7)$$

**2) по характеру (закономерности) измерения** погрешности подразделяются на систематические, случайные, грубые (промахи).

- **Систематические погрешности  $\Delta_c$**  – составляющие погрешности измерений, остающиеся постоянными или закономерно изменяющиеся при многократных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях.

- **Случайные погрешности  $\Delta^0$**  – составляющие погрешности измерений, изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях.

- **Грубые погрешности** – погрешности, существенно превышающие ожидаемые при данных условиях измерения.

Без учета промахов, абсолютная погрешность измерения –  $\Delta$  определяется как сумма систематической и случайной погрешностей и как сумма является случайной величиной.

$$\Delta = \Delta_c + \Delta^0 \quad (8)$$

#### **4. Прямые измерения и их классификация**

При наличии значительных случайных погрешностей существует необходимость многократных измерений случайной величины  $x_n$ .

В соответствии с ГОСТ 8.207-76:

1. Для оценки результата измерения полагается, что при выполнении  $n$  многократных наблюдений одной и той же величины  $x_n$  постоянная систематическая погрешность  $\Delta_c$  полностью исключена.

2. Тогда результат некоторого  $i^{\text{го}}$  наблюдения  $x_i = x_u + \Delta_i$  находится с некоторой абсолютной случайной погрешностью

$$\Delta_i = \Delta_i^0 = x_i - x_u \quad (9)$$

3. За истинную величину  $x_{и}=A$  принимают ее оптимальную оценку  $\bar{x}=A$  в виде среднеарифметического значения ряда наблюдений:

$$\bar{x} = A = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (10)$$

зная оценку  $\bar{x}$  истинного значения величины  $x_{и}$  вычисляют абсолютную погрешность каждого из  $n$  наблюдений:

$$\bar{\Delta}_i = x_i - \bar{x} \quad (11)$$

4. Затем находят оценку среднеквадратического отклонения  $\sigma$  наблюдений, характеризующую точность метода измерений:

$$\sigma \cong \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \bar{\Delta}_i^2}{n-1}} \quad (12)$$

5. Оценка  $\bar{x} = A$  измеренного истинного значения  $x_{и} = A$  зависит от числа наблюдений  $n$  и является случайной величиной. Поэтому вводят для  $\bar{x}$  оценку – среднеквадратическое отклонение результата измерений  $\bar{\sigma}_{cp} = S(\bar{A})$ , которое характеризует степень разброса значений  $\bar{x} = A$  по отношению к истинному значению:

$$\bar{\sigma}_{cp} = S(\bar{A}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (13)$$

следовательно, с увеличением числа измерений  $n$  увеличивается точность метода и результата многократных измерений.

## Практическая часть

### Лабораторная работа № 11

#### Измерение напряжения и силы постоянного тока участка цепи Компьютерное моделирование

**Цель работы:** Изучение методики оценки погрешности результата прямых измерений напряжения и силы постоянного тока.

**Объекты исследования, оборудование, инструмент.**

Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

### Подготовка к работе.

- Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 78).
- Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

### Задания и порядок выполнения работы.

**Задание №1.** Провести теоретический расчет истинных величин напряжений и силы постоянного тока.

Записать уравнения Кирхгофа и Ома для исследуемой схемы (Рис. 1).

Определить теоретически показания амперметров и вольтметров цепи для трех случаев:

- к E1 подключено сопротивление R1,
- к E1 подключено сопротивление R2,
- к E1 подключены оба сопротивления.

Если величина напряжения источника ЭДС  $E1 = N$  В,  $R1 = 2N$  Ом,  $R2 = 3N$  Ом. Где  $N$  номер Вашего варианта.

**Задание № 2.** Провести компьютерное моделирование измерений напряжения и силы тока.

1. Собрать в программном пакете **Electronics Workbench** схему исследования (см. Рис. 1).

2. Последовательно исследовать три варианта подключения сопротивлений R1, R2 к цепи из задания 1. Результаты измерений оформить в виде таблицы.

3. Объяснить различия результатов теоретических расчетов и компьютерного моделирования.

4. Последовательно изменить внутренние сопротивления амперметров и вольтметров, уменьшая при этом погрешность измерений. Результаты измерений оформить в виде таблицы (пример – таблица № 1).

5. Оценить результат измерения в соответствии с методикой, изложенной в пункте 4 кратких теоретических сведениях (формулы (9)–(13)).

Таблица № 1

	U1	U2	A1	A2	A3
для R1 (3-4 изм.)					
для R2					
для R1 и R2					

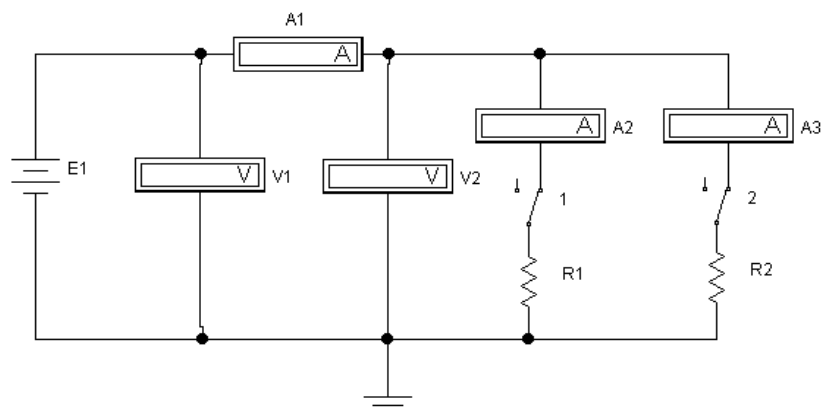


Рис. 1. Схема измерений напряжения и силы постоянного тока

### Контрольные вопросы

1. Определение погрешности измерения, погрешности средства измерения.
2. Классификация погрешностей по способу количественного выражения, по характеру изменения, по причинам возникновения погрешности.
3. Методика прямых измерений с многократными наблюдениями.

**Отчет по проделанной работе** предоставляется на проверку преподавателю в письменном виде. Отчет должен содержать:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Теоретический расчет и результаты по первому заданию.
4. Результаты моделирования.
5. Сравнительный анализ результатов.
6. Выводы.

## Лабораторная работа № 12

### Измерение напряжения и силы постоянного тока участка цепи Натурное моделирование

**Цель работы:** Изучение методики прямых и косвенных измерений напряжения и силы постоянного тока.

#### Объекты исследования, оборудование, инструмент.

Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

#### Подготовка к работе.

- Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 78).
- Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

#### Задания и порядок выполнения работы.

**Задание № 1.** Изучить принцип измерений напряжения и силы тока современными измерительными приборами мультиметрами Ф4800, М830, М300.

### Минимультиметр цифровой М830

Минимультиметр М830 предназначен для измерения постоянного и переменного напряжения, постоянного тока, сопротивления и проверки диодов, снабжен защитой от перегрузок на всех пределах и индикатором разряда батарей.

#### Технические данные минимультиметра

Точность измерений при температуре  $23 \pm 5^\circ\text{C}$  и относительной влажности менее 75%.

#### Постоянное напряжение

Таблица № 2

Предел	Разрешение	Точность
200мВ	100мкВ	$\pm 0.25\% \pm 2\text{ед. счета}$
2000мВ	1мВ	$\pm 0.5\% \pm 2\text{ед. счета}$
20В	10мВ	$\pm 0.5\% \pm 2\text{ед. счета}$
200В	100мВ	$\pm 0.5\% \pm 2\text{ед. счета}$
1000В	1В	$\pm 0.5\% \pm 2\text{ед. счета}$

#### Переменное напряжение

Таблица № 3

Предел	Разрешение	Точность
200В	100мВ	$\pm 1.2\% \pm 10\text{ед. счета}$
750В	1В	$\pm 1.2\% \pm 10\text{ед. счета}$

#### Постоянный ток

Таблица № 4

Предел	Разрешение	Точность
200мкА	100нА	$\pm 1\% \pm 2\text{ед. счета}$
2мА	1мкА	$\pm 1\% \pm 2\text{ед. счета}$
20мА	10мкА	$\pm 1\% \pm 2\text{ед. счета}$
200мА	100мкА	$\pm 1.2\% \pm 2\text{ед. счета}$
10А	1мА	$\pm 0.2\% \pm 2\text{ед. счета}$

### Описание передней панели

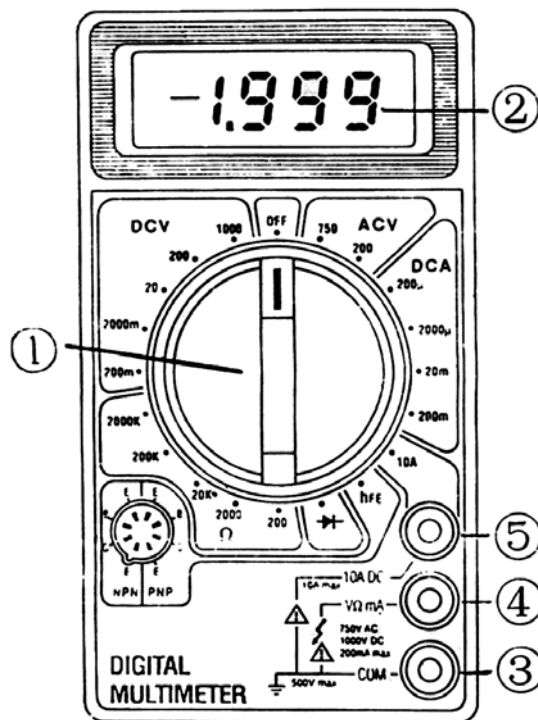


Рис. 2. Внешний вид минимультиметра М830

1. *Переключатель режимов и пределов.* Переключатель позволяет установить параметр измерения и желаемый предел измерений. При завершении работы переключатель должен быть установлен в положение **OFF**.

2. *Дисплей.* Трех с половиной разрядный, семисегментный жидкокристаллический индикатор с высотой знака 12,7 мм.

3. *Гнездо «Общий» («COM»).* Гнездо для черного отрицательного щупа.

4. *Гнездо «V,Ω,A».* Гнездо для красного (положительного) щупа при измерении напряжения, сопротивления и тока, исключая 10 А.

5. *Гнездо «10A».* Гнездо для красного (положительного) щупа при измерении тока до 10А.

### Измерение постоянного напряжения

1. Вставьте красный щуп в гнездо «V,Ω,A», черный щуп – в гнездо «COM».
2. Установите переключатель режимов на желаемый предел постоянного напряжения (DCV). Если значение напряжения неизвестно заранее, поставьте переключатель на наибольший предел и понижайте его до получения удовлетворительного отсчета.
3. Присоедините щупы к проверяемому устройству или схеме.
4. Включите питание устройства или проверяемой схемы, значение напряжения появится на цифровом дисплее.

### Измерение переменного напряжения

1. Вставьте красный щуп в гнездо «**V,Ω,A**», черный щуп – в гнездо «**Общий**».
2. Установите переключатель режимов на желаемый предел переменного напряжения (Режим ACV).
3. Присоедините щупы к проверяемому устройству или схеме.
4. Считайте напряжение на цифровом дисплее.

#### Измерение постоянного тока

1. Вставьте красный щуп в гнездо «**V,Ω,A**», черный щуп – в гнездо «**COM**». Для измерения токов от 200мА до 10А вставьте красный щуп в гнездо «**10А**».
2. Установите переключатель режимов на желаемый предел постоянного тока (Режим DCA). Если значение тока неизвестно заранее, поставьте переключатель на наибольший предел и понижайте его до получения удовлетворительного отсчета.
3. Разорвите проверяемую цепь, и включите щупы ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО.
4. Считайте значение тока на цифровом дисплее.

#### Мультиметр цифровой Ф4800

Мультиметр Ф4800 предназначен для измерения постоянного напряжения и тока, емкости конденсаторов, индуктивностей катушек, сопротивлений, средней частоты колебаний и следования импульсов, подсчета количества импульсов, интервала времени между двумя импульсами.

#### Технические данные минимультиметра

Точность измерений при температуре от +5°C до +40°C и относительной влажности менее 80%.

#### Постоянное напряжение (диапазон 0.001 - 1000В)

Таблица № 5

Предел	Разрешение	Точность
1В	1мВ	$\pm \{0.25 + 0.1(\left \frac{X_k}{X}\right  - 1)\}, \%$
10В	0.01В	
100В	0.1В	
1000В	1В	

где X – значение измеряемой величины на входе прибора,  $X_k$  – конечное значение установленного поддиапазона измерений.

#### Постоянный ток (диапазон 0.001 – 1000мА)

Таблица № 6



Предел	Разрешение	Точность
1мА	1мА	$\pm \{0.25 + 0.1 \left( \left  \frac{X_k}{X} \right  - 1 \right) \}, \%$
10мА	0.01мА	
100мА	0.1мА	
1000мА	1мА	

### Измерение постоянного напряжения

Перед началом работы необходимо помнить:

1. Строго соблюдать правильность подключения измеряемых величин на входные разъемы.
2. Не допускать одновременного включения кнопок «С», «L»; «U», «I», что может привести к выходу прибора из строя.
3. Напряжение свыше 100В подключать на разъем «1000В».
4. Недопустимо подключать заземленный полюс измеряемого напряжения на центральный вывод разъемов «1000В» и «U I»: источник измеряемого напряжения будет замкнут накоротко.
5. Через 30 минут после включения прибора необходимо выполнить калибровки в режиме автоматического пуска.
6. Выполните калибровку прибора перед измерением U, I следующим образом:
  - А) нажмите кнопку «U» переключателя РОД РАБОТЫ и кнопку «I» переключателя ПРЕДЕЛЫ;
  - Б) замкните накоротко вход прибора (разъем «UI»);
  - В) установите с помощью потенциометра «I» калибровки U, I на цифровом табло прибора показание «0002» с точностью в среднем до двух единиц младшего разряда;
  - Г) нажмите кнопку «100», потенциометром, находящимся под верхней крышкой прибора (уст. 0, 100В, 1000В), установите на цифровом табло показания с указанной выше точностью;
  - Д) разомкните вход, нажмите кнопку «K», потенциометром «2» калибровки U, I установите на цифровом табло показание, записанное на шильдике КАЛИБРОВОЧНЫЕ ЧИСЛА, соответственно режиму калибровки U, I с указанной выше точностью. Калибровка может выполняться в положении «ЗР», при этом используется режим масштабирования (нажать кнопку «×0.1»).
7. Установите тумблер «ЗР-4Р» в положение «ЗР».
8. Подключите измеряемое напряжение к разъему «1000В».
9. Нажмите кнопку «U» переключателя РОД РАБОТЫ, переключатель ПРЕДЕЛЫ установите в положение, соответствующее пределу 1000В.
10. Измерьте напряжение в ручном режиме (потенциометр ВРЕМЯ ИНД. Установите в крайнее левое положение, нажмите кнопку ПУСК), либо в автоматическом режиме (потенциометр ВРЕМЯ ИНД. Выведите из крайнего левого положения, его положение выберите в зависимости от желаемого времени индикации).
11. Если напряжение окажется меньше 100В, переключите кабель с разъема «1000В» на разъем «U I», а переключатель ПРЕДЕЛЫ в положение,

соответствующее пределу 100В или еще меньшему; переключите предел измерений на больший при зажигании на цифровом табло сигнала «П» – переполнение предела измерений.

12. Если измеряемая величина превышает максимальное значение на выбранном пределе не более 10%, рекомендуется работать с переполнением для уменьшения погрешности от дискретности отсчета.

#### Измерение постоянного тока

Измерьте постоянный ток в следующей последовательности:

1. Выполните калибровку по методике, указанной в пункте № 6 измерения U.
2. Подключите измеряемый ток к разъему «U I».
3. Нажмите кнопку «I» переключателя РОД РАБОТЫ.
4. Установите переключатель ПРЕДЕЛЫ в положение, соответствующее предполагаемому значению измеряемой величины.
5. Измерьте ток в ручном или автоматическом режиме (методика указана в пунктах № 10–12 измерения напряжения).

В качестве источника питания в работе используется источник питания постоянного тока Б5-49, Б5-50.

#### Источник питания постоянного тока Б5-49

##### Технические данные источника питания

Таблица № 7

Пределы установки $U_{\text{вых}}$ , В	Пределы установки $I_{\text{вых}}$ , мА
0,1–99,9	1–999

Погрешность установки выходного напряжения не превышает  $\pm(0.5\%U_{\text{уст}} + 0.1\%U_{\text{max}})$  В, где  $U_{\text{уст}}$ ,  $U_{\text{max}}$  – устанавливаемое и максимальное значения выходного напряжения прибора.

Погрешность установки выходного тока не превышает  $\pm(1.0\%I_{\text{уст}} + 0.2\%I_{\text{max}})$  мА,

где  $I_{\text{уст}}$ ,  $I_{\text{max}}$  – устанавливаемое и максимальное значения выходного тока прибора.

#### Измерение постоянного напряжения и тока

При проведении измерений необходимо:

1. Тумблер ВКЛ прибора установить в верхнее положение.
2. Выставить на кодовом переключателе напряжения **U = 5В** (05.0В).
3. Кодовый переключатель тока установить в положение **I = 20мА** (020), соответствующее потребляемому току.
4. Подать установленное напряжение в питаемое устройство.

**Перед выполнением лабораторной работы необходимо подробно изучить методику работы измерительных приборов.**

Сдать **допуск к работе**, ответив на следующие вопросы:

1. Назначение мультиметров, источника питания.
2. Методика подготовки мультиметров и источника питания к измерениям.
3. Методика проведения измерений.
4. Определить погрешность, вносимую в результат измерений каждым прибором.

**Задание № 2.** Провести измерения напряжения и силы тока цифровыми мультиметрами Ф4800, М83Х, М300.

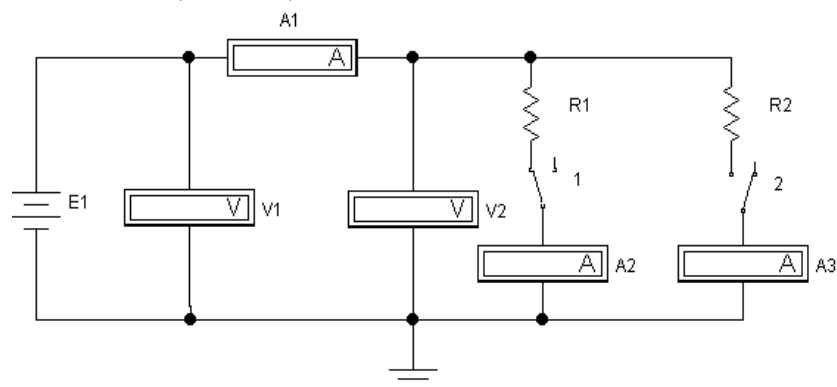


Рис. 3. Схема измерений напряжения и силы постоянного тока

Собрать приведенную на Рис. 3 схему измерений.

Где E1 – источник питания Б5-49;

V1, V2, A1–A3 – мультиметры М830, М300, Ф4800 (количество приборов может быть меньшим – можно использовать один вольтметр, последовательно подключая его к указанным точкам схемы);

R1, R2 – сопротивления, номиналы, которых задаются преподавателем или зав. лабораторией.

**Перед началом измерений схему обязательно показать для проверки преподавателю или зав. лабораторией.**

При выполнении измерений необходимо:

1. В качестве измерительных приборов использовать мультиметры М830, М300.

2. Использовать мультиметры Ф4800.

Результаты измерений занести в таблицу.

Таблица № 8

	U1	U2	A1	A2	A3
М830					

Для R1	Ф4800					
Для R2	M830					
	Ф4800					
Для R1, R2	M830					
	Ф4800					

Определить погрешность полученных результатов измерений, истинное значение измеренной величины определить теоретически на основе законов Ома и Кирхгофа.

На основании анализа теоретических расчетов и результатов измерений сделать выводы о точности полученных результатов измерений.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Определение погрешности измерения, погрешности средства измерения (цифровых мультиметров).
2. Классификация погрешностей по способу количественного выражения, по характеру изменения.

#### **Содержание отчета**

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Краткое изложение теоретической части.
3. Электрическая схема и графики, полученные в ходе выполнения работы.
4. Необходимые вычисления и выводы.
5. Ответы на контрольные вопросы.

### **Лабораторная работа № 13**

#### **Измерение напряжения переменного тока участка цепи Натурное моделирование**

**Цель работы:** Изучение методики прямых измерений напряжения переменного тока.

**Объекты исследования, оборудование, инструмент.**  
Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

#### **Подготовка к работе.**

- Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 78).
- Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

#### **Задания и порядок выполнения работы.**

**Задание № 1.** Изучить принцип измерений напряжения переменного тока современными измерительными приборами мультиметрами, осциллографами.

**Задание № 2.** Провести измерения напряжения переменного тока.

1. Собрать приведенную на Рис. 4 схему измерений. Измерить напряжения на входе и выходе RC – цепи (на рисунке приведено соответствующее положение ключей K1, K2). При натурном моделировании последовательно собрать сначала RC, а затем CR цепь.

Где E1 – генератор низкочастотный ГЗ–118;

V1, V2, V3 – мультиметры М300, (количество приборов может быть меньшим – можно использовать один вольтметр, последовательно подключая его к указанным точкам схемы);

R1 = R2 – сопротивления, C1 = C2 – конденсаторы, номиналы которых задаются преподавателем или зав. лабораторией.

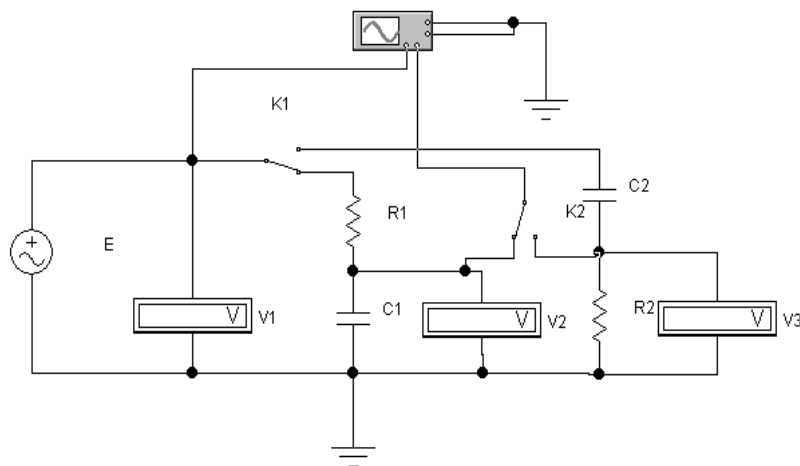


Рис. 4. Схема измерений напряжения переменного тока

Перед началом измерений схему обязательно показать для проверки преподавателю или зав. лабораторией.

2. Задать параметры выходного гармонического сигнала генератора ГЗ–118:  $U_m = 10V$ ,  $f = 300Hz$ .

Исследовать напряжения на входе и выходе RC - цепи.

При выполнении измерений необходимо проверить калибровку осциллографа.

Зарисовать в масштабе полученные входную и выходную осциллограммы, записать действующее значение напряжения с мультиметра. Результаты измерений занести в таблицу.

Таблица № 8

RC – цепь					
	Осциллограмма	$U_m$	$U_{действ}$	$U_{средневыпр}$	$U_{м300(скорректиров.)}$

ВХОД					
ВЫХОД					

На основании осциллограммы определить амплитуду, действующее (среднеквадратическое) и средневыпрямленное (постоянная составляющая) значения сигнала.

Для гармонического сигнала справедливы следующие соотношения:

$U_{\text{средневпр.}} = 0,637 U_m$ , где  $U_m$  – амплитуда сигнала,  $U_{\text{действ.}} = 0,707 U_m$ .

Для устранения инструментальной погрешности мультиметра (из-за наличия входного выпрямителя) необходимо скорректировать его шкалу (показания – действующее значение напряжения  $U_{\text{действующее}}$ ) в соответствии с графиком, представленном на рис. 5.

3. Теоретически определить напряжение на входе и выходе цепи, если сопротивления мультиметров и осциллографа равны 1 МОм.

Результаты теоретических расчетов сравнить с измеренными значениями. На основании анализа определить погрешности измерений.

Сделать выводы.

4. В соответствии с заданиями 2,3 аналогично исследовать CR – цепь.

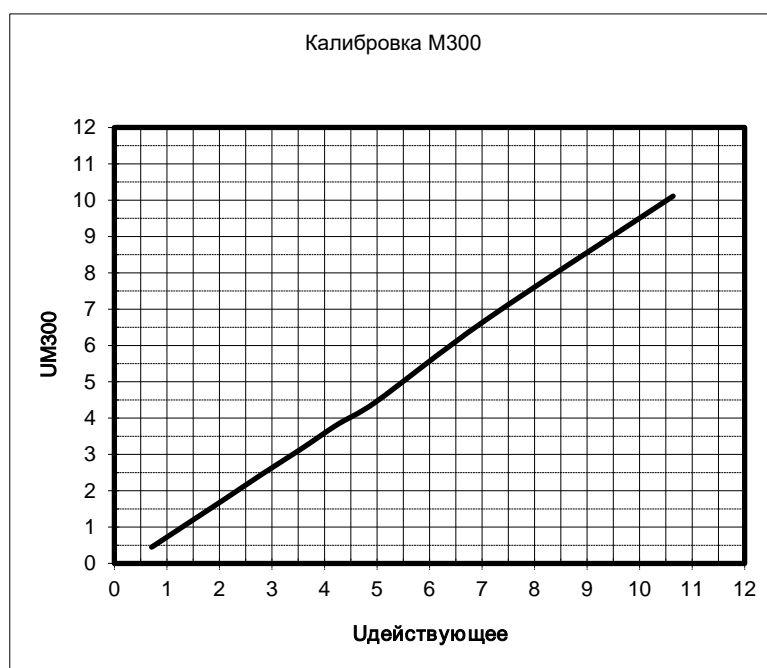


Рис. 5. Калибровка шкалы мультиметра М300

#### Контрольные вопросы:

1. Перечислите основные характеристики напряжения переменного тока.
2. Классификация погрешностей по способу количественного выражения, по характеру изменения.

#### Содержание отчета

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Краткое изложение теоретической части.

3. Электрическая схема и графики, полученные в ходе выполнения работы.
4. Необходимые вычисления и выводы.
5. Ответы на контрольные вопросы.

### **Лабораторная работа № 14**

#### **Измерение параметров амплитудно-модулированных радиотехнических сигналов**

**Цель работы:** Изучение методики измерений параметров сложных радиотехнических сигналов на примере АМ – сигнала.

#### **Объекты исследования, оборудование, инструмент.**

Программное обеспечение: Electronics Workbench V5.12.

#### **Подготовка к работе.**

- Изучить теоретические сведения (п. 2, стр. 78).
- Включить ПК, открыть Electronics Workbench V5.12.

#### **Задания и порядок выполнения работы.**

**Задание № 1.** Провести теоретический расчет параметров математической модели АМ – сигнала (временное, спектральное, аналитическое представление).

Зарисовать в масштабе осциллограмму и спектр АМ сигнала, если:

Вариант четный:  $U_{вч} = 0.6В$ ,  $F_{вч} = 100кГц$ ;  $U_{нч} = 0.6В$ ,  $F_{нч} = 10кГц$ .

Вариант четный:  $U_{вч} = 0.5В$ ,  $F_{вч} = 150кГц$ ;  $U_{нч} = 0.5В$ ,  $F_{нч} = 15кГц$ ;

Определить ширину спектра АМ – сигнала.

Исследуйте теоретически влияние на параметры АМ – сигнала частот несущего и управляющего колебаний, коэффициента модуляции (пределы изменения взять из задания № 3).

**Задание № 2.** Изучить принцип измерений параметров АМ – сигнала осциллографом С1-64 и анализатором спектра СК4-58.

Исследования **временного** описания АМ – сигнала проводятся с помощью осциллографа. Методика измерений стандартная, описана ранее.

Исследования **спектрального** представления АМ – сигнала проводятся с помощью анализатора спектра СК4-58.

#### **Анализатор СК4-58**

**Назначение.** Исследования и измерения параметров периодических радиосигналов.

**Принцип действия.** Преобразование сигналов, полученных во временной области измерений в частотную область (преобразование Фурье).

**Способ измерения параметров.** Оператор имеет возможность наблюдать и настраивать режимы панорамного обзора сигналов поступающих на вход СК4-58. Измерения проводятся на развертке ЭЛТ, где по вертикали откладывается амплитуда сигнала, а по горизонтали - значение частоты.

**После прогрева 5 переведите регулировку яркости вправо до появления луча. Если луч отсутствует, то регулировку яркости переместите влево и немедленно сообщите персоналу лаборатории о неисправности (см. инструкцию по работе анализатора спектра).**

**Задание № 3.** Исследовать параметры АМ - сигнала.

Соберите схему исследования, приведенную на Рис. 6.

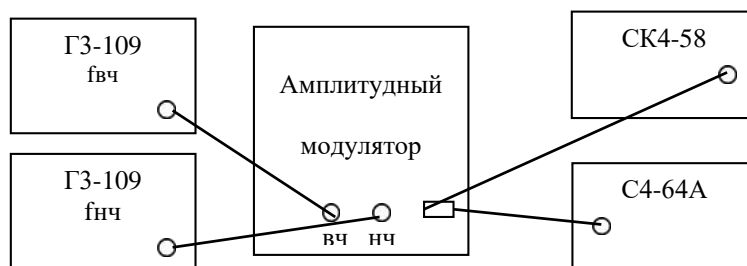


Рис. 6. Схема измерения параметров АМ – сигнала

Выставьте параметры сигналов из задания № 1 на генераторах (предел для амплитуды напряжения выбрать 1,5 В).

Получите и зарисуйте в масштабе устойчивый спектр и осциллограмму на СК4–58 и С4–64А.

Исследуйте зависимость параметров сигнала от :

- частоты несущего колебания ( $f_{вч}$  увеличьте на 50 кГц от первоначальной установки);
- частоты управляющего колебания ( $f_{нч}$  увеличьте на 10 кГц от первоначальной установки);
- глубины модуляции  $M = U_{нч}/U_{вч}$  (установить  $M < 1$ ,  $M > 1$  изменяя амплитуду  $U_{нч}$ ).

Зарисовать в масштабе для каждого исследования осциллограммы и спектр.

Сравните теоретические расчеты с полученными результатами измерений. Письменной сделайте выводы.

**Контрольные вопросы:**



1. Укажите измеряемые параметры сложных радиотехнических сигналов (на примере АМ – сигнала).
2. Опишите методику исследования ММ АМ – сигнала.

### **Содержание отчета**

6. Тема и цель лабораторной работы.
7. Краткое изложение теоретической части.
8. Электрическая схема. Осциллограмма сигнала на входе и выходе схемы с указанием частоты, амплитуды, (скважности импульсов).
9. Необходимые вычисления и выводы.
10. Ответы на контрольные вопросы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература

1. Мурашкина, Т.И. Теория измерений : учеб.пособие для вузов / Т.И.Мурашкина [и др.] .— М. : Высш.шк., 2007 .— 151с. : ил. — Библиогр.в конце кн. — ISBN 978-5-06-005700-3 : 119.17.
2. Проскуряков Н.Е., Ходов С.И. Основы методов планирования эксперимента. Учебное пособие. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – 76 с. (Электронно-библиотечная система «БИБЛИОТЕХ») - Режим доступа: <https://tsutula.bibliotech.ru/> , по паролю.
3. Хмелёв, Роман Николаевич. Основы научных исследований и планирования экспериментов на автомобильном транспорте : учеб. пособие / Р. Н. Хмелёв ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2009 .— 102 с.

### Дополнительная литература

1. Арефьева, Е.А. Общая теория статистики : учеб. пособие / Е. А. Арефьева, Т. Н. Маркова ; ТулГУ .— 2-е изд., перераб. и доп. — Тула : ТулГУ, 2007 .— 140 с.
2. Строгалева, В.П. Имитационное моделирование : учеб. пособие для вузов / В.П. Строгалева, И.О. Толкачева .— М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008 .— 280 с.
3. Устинова, Л.А. Тульский государственный университет. Кафедра физики Обработка результатов эксперимента: метод. рекомендации по обработке результатов лабораторных работ по общему курсу физики / Л. А. Устинова, М. И. Лахатова ; ТулГУ, Каф. физики .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2008 .— 19 с.
4. Фатуев, В.А. ТулГУ. Математические модели объектов управления : Учеб. пособие / В.А. Фатуев, Т.Н. Маркова;ТулГУ .— Тула, 2002 .— 119 с.