

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра вычислительных машин,
комплексов, систем и сетей
Б.Л. Резников

**СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**



Москва 2005

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	3
2. Методика и последовательность работы в системе моделирования Electronics WorkBench (EWB)	5
2.1. Руководство пользователя EWB	6
2.2. Знакомство с контрольно-измерительными приборами	7
2.3. Настройка осциллографа	11
2.4. Как пользоваться визирными линиями	14
2.5. Специальные приборы	18
2.6. Проектирование схемы	20
2.7. Анализ работы схемы	24
2.8. Измеритель частотных характеристик	35
3. Возможность системы моделирования MicroCap (МС)	37
3.1. Руководство пользователя МС	39
3.2. Сборка схемы в среде МС	49
3.3. Анализ схемы генератора пилообразного напряжения	52
4. Библиотека пользователя. Электронные схемы для учебного процесса по курсу «Электроника и Схемотехника»	57
4.1. Выпрямители вторичных источников электропитания	57
4.2. Схемы электронных устройств на биполярных и полевых транзисторах	59
4.3. Схемы генераторов	63
4.4. Схемы на операционных усилителях	69
4.5. Триггеры	73
4.6. Базовые цифровые элементы	80
Литература	83

1. Введение

В современной учебно-методической работе значительную и все более возрастающую роль занимает компьютерное моделирование и, в связи с этим, все большее значение приобретают абстрактные математические методы, реализуемые на современных ЭВМ с использованием различных прикладных программ.

В настоящее время в распоряжении пользователя имеется большое количество интеллектуальных программ, позволяющих оперативно проводить исследования практически любых самых сложных электронных устройств. Так студентам специальности 220100 предлагается использовать в своей учебной практике программы –Electronics Workbench (EWB).Micro- Cap.(MC) DesignLab(P, Spice 9.0 Student) (P,S).Названные программы позволяют :

- Создавать принципиальную электрическую схему устройства ,
- Проводить расчет статистического режима по постоянному току,
- Рассчитывать частотные характеристики и переходные процессы,
- Проводить оценку уровня внутреннего шума и предельной чувствительности,
- Проводить многовариантный анализ, включая статистический анализ по методу Монте – Карло,
- Представлять данные в удобной форме,
- Нарращивать библиотеку компонентов

Основу системы названных программ составляет текстовый формат PSPACE, который является наиболее известной модификацией программы схемотехнического моделирования Spice, и был разработан в Калифорнийском Университете в 70-х годах.

Опыт работы в Университете гражданской авиации , а также в других.ВУЗ-ах страны по применению интеллектуальных прикладных программ в учебном процессе показывает ,что у студентов не только значительно улучшается отношение к изучаемым техническим дисциплинам ,

но и возрастает интерес к ним , при этом устойчивость навыков в проектировании и анализе работы , в частности , электрических схем заметно увеличивается.

Практические и лабораторные работы в виртуальных лабораториях на IBM PC в МГТУ ГА показали, что существенно сократилось время подготовки эксперимента. Понятнее стала физическая сущность происходящих процессов, сократилось время при выполнении задания, что позволило увеличить количество проектируемых и исследуемых объектов и, что самое главное, у студентов заметно возрос интерес к изучению сложных технических дисциплин.

Автор пособия «Электронная лаборатория на IBM PC» (1) В.И. Карлащук назвал подобные интеллектуальные программы – «обобщенным» учителем. Благодаря уменьшению потока информации от «индивидуального» учителя к учащимся и существенного увеличению этого потока от «обобщенного» учителя (программы) к ним улучшается управление процессом обучения. Сочетание кибернетических и педагогических идей при создании систем программного обучения оказывает влияние на весь учебно-воспитательный процесс, так как не только изменяет место и умножает возможности преподавателя в руководстве коллективом учащихся ,но и повышает их роль в процессе обучения , развивает творчество.»

Заметный вклад по внедрению новых компьютерных технологий в науку, промышленность и безусловно в учебный процесс внесен нашими учеными и преподавателями- Карлащуком В.И., Разевигом В.Д., Панфиловым Д.И.Кардашевым Г.А.,Алиевым И.И., Кучумовым А.И. и другими (1-6).

В России всегда был и продолжает оставаться высокий уровень образования. Достигается это не только профессиональными качествами профессорско-преподавательского состава, но и прогрессивной учебно-методической работой, предусматривающей комплексный подход при обучении студентов , с активным внедрением новых информационных технологий.

2. Методика и последовательность работы в системе моделирования Electronics Workbench (EWB)

Программа Electronics Workbench (далее EWB) является продуктом фирмы Interactive Image Technologies и предназначена для схемотехнического представления и моделирования аналоговых, цифровых и аналогово – цифровых элементов, компонентов и др. Пакет включает в себя средства редактирования, моделирования и виртуальные инструменты тестирования электрических схем, а также дополнительные средства анализа моделей.

Особенностью программы является наличие контрольно - измерительных приборов, по внешнему виду и характеристикам приближенных к их промышленным аналогам. Программа проста для восприятия и достаточно удобна в работе. Она достойно отличается от аналогичных программ простым и легко осваиваемым интерфейсом. Всё это делает обоснования выбора EWB для учебного процесса безусловно целесообразным. Это реальное рабочее место студента, оборудованное контрольно-измерительной аппаратурой, позволяющее проводить исследования практически любых электронных устройств.

При проектировании схемы большинство операций выполняется с использованием левой кнопки мыши. Правая кнопка используется для вызова контекстного меню свойств компонентов и элементов или измерительных приборов.

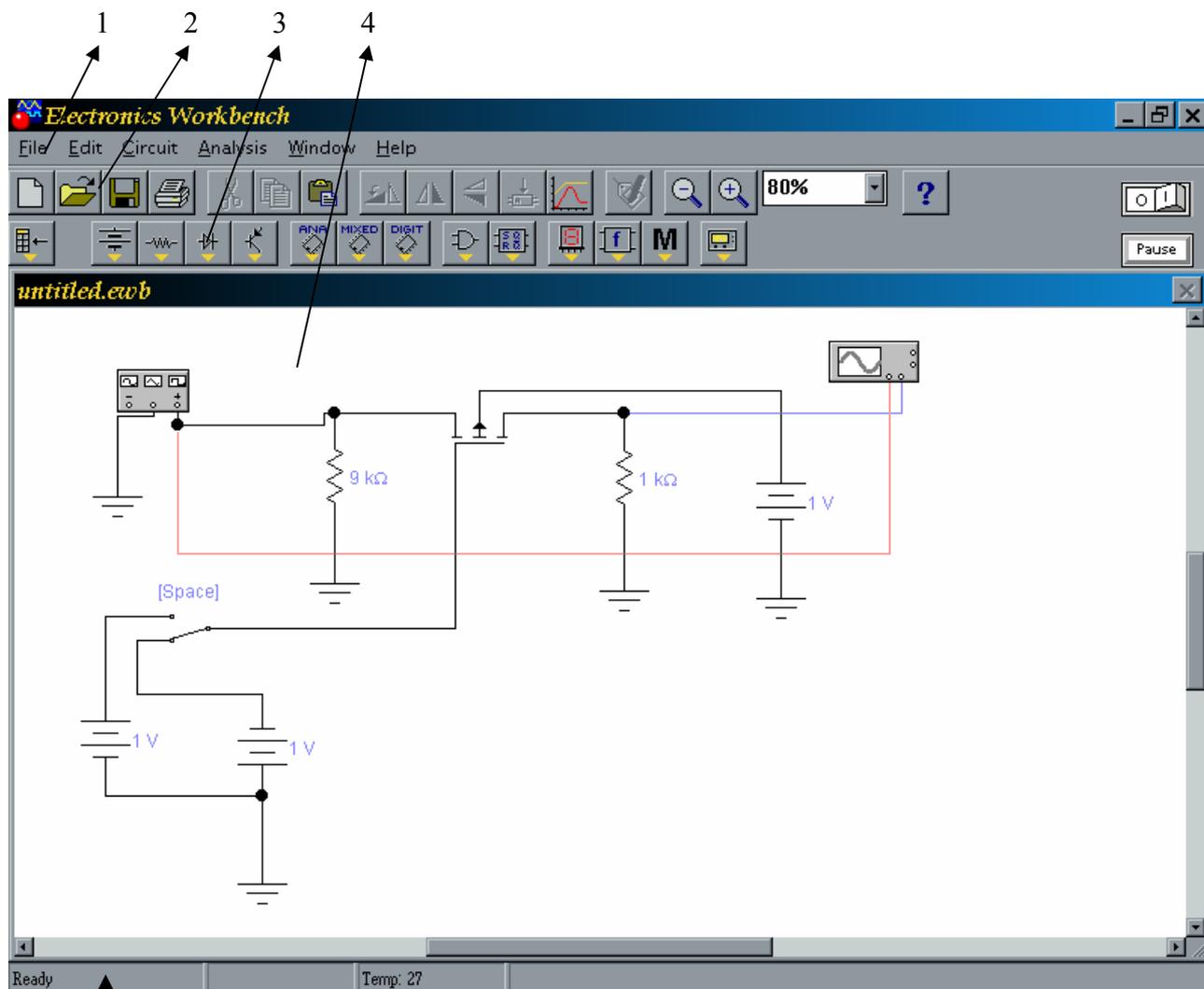
Для создания электронного устройства необходимо выполнить следующие действия:

- найти и выбрать необходимые компоненты,
- разместить компоненты на рабочем пространстве,
- соединить компоненты проводникам
- найти и выбрать необходимые компоненты,
- разместить компоненты на рабочем пространстве,
- соединить компоненты проводниками,
- установить значения параметров.

2.1 Руководство пользователя EWB

Структура окна.

После установки программы и запуска на экране появляется рабочее окно, внешний вид которого представлен на рисунке 2.1



5 | Рисунок 2.1 Главное окно программы

В этом окне содержится меню (1), линейка библиотек компонентов и контрольно-измерительных приборов (2,3), рабочая область окна (4) и строка состояния (5).

Работа с меню и выбор компонентов из библиотеки.

Electronics Workbench позволяет осуществлять доступ к элементам меню либо при помощи мыши, выбрав соответствующий пункт меню и нажав левую

клавишу мыши, либо с помощью клавиатуры. При работе с клавиатурой необходимо:

- нажать и отпустить клавишу Alt, (первый элемент меню выделится другим цветом),
- нажатием клавиш курсора «влево» или «вправо» выделить нужный пункт меню,
- нажатием клавиши курсора «вниз», (откроется выпадающее меню),
- курсором выбрать нужный пункт и нажать Enter.

К библиотеке компонентов и контрольно-измерительных приборов доступ осуществляется только при помощи мыши. Все действия производятся только по щелчку левой клавиши

2.2 Знакомство с библиотекой компонентов и приборов.

Все компоненты (резисторы, диоды, транзисторы и т.д.) содержатся в библиотеке компонентов, рисунок 2. 2.

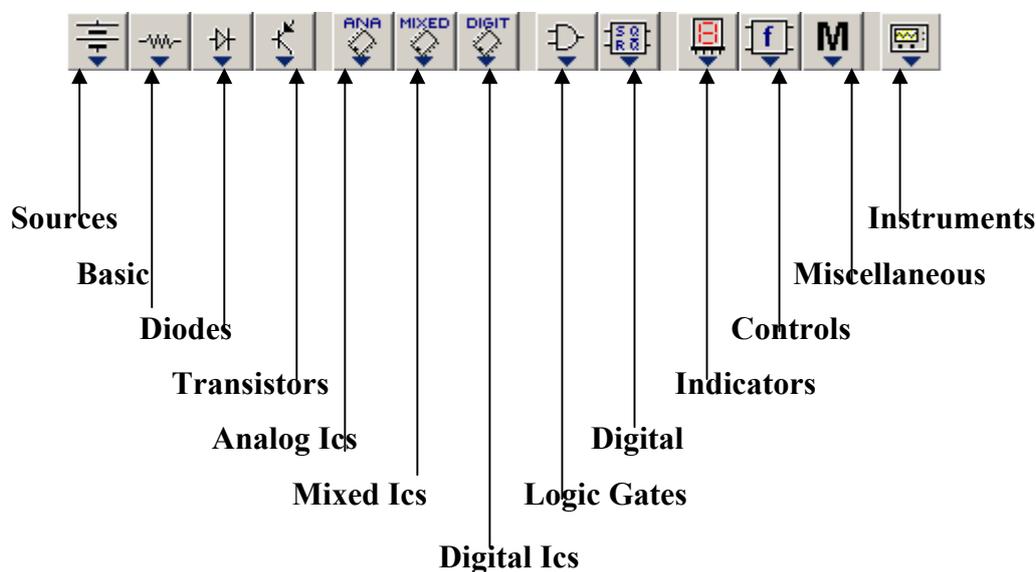


Рисунок 2.2 Библиотека компонентов и приборов

Для удобства поиска библиотека разделена на несколько групп, содержащих близкие по назначению компоненты. Так в Electronics Workbench содержится 13 групп компонентов: «Источники», «Диоды», «Транзисторы» и т.д.

Перечень и расшифровка компонентов и элементов представлена в (8).

Знакомство с контрольно-измерительными приборами.

В данном разделе будут рассмотрены основные электроизмерительные приборы: вольтметр, амперметр, мультиметр, осциллограф.

 Вольтметр – прибор, предназначенный для измерения напряжения между двумя точками схемы. Он находится в библиотеке «Indicators».

Это наиболее простой в использовании прибор, но и он требует предварительной настройки.

Настройке подвергаются два параметра - внутреннее сопротивление и тип измеряемого напряжения: AC – переменное, DC – постоянное.

Доступ к окну настройки, как и у всех элементов, осуществляется по двойному щелчку левой клавишей мыши. Оно имеет вид, рисунок 2.3.

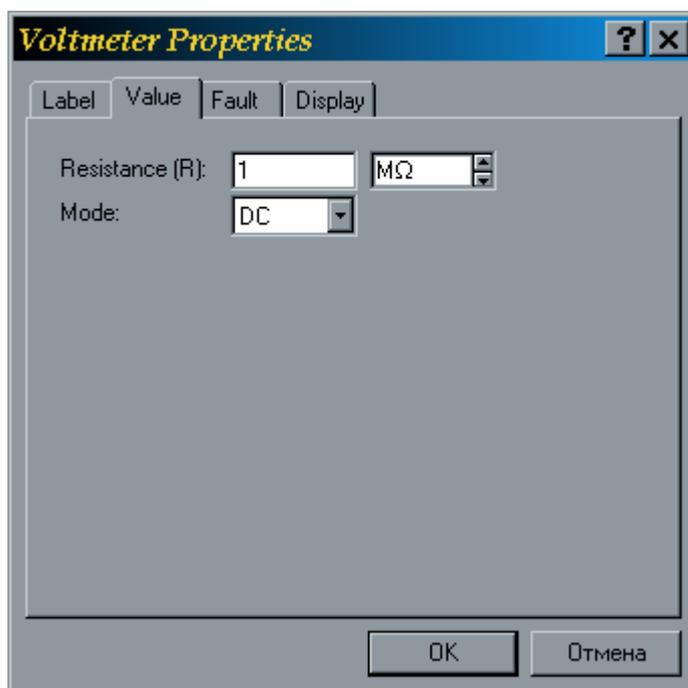


Рисунок 2.3 Передняя панель вольтметра

В поле Resistance указывается внутреннее сопротивление прибора, а в поле Mode – тип напряжения.



Амперметр – прибор для измерения тока в цепи. Настройки полностью идентичны вольтметру.



Мультиметр, рисунок 2.4. Сочетает в себе вольтметр и амперметр. В схеме можно использовать только один прибор. Окно отображения и настройки реализованы совместно и открываются по двойному щелчку левой клавиши мыши.

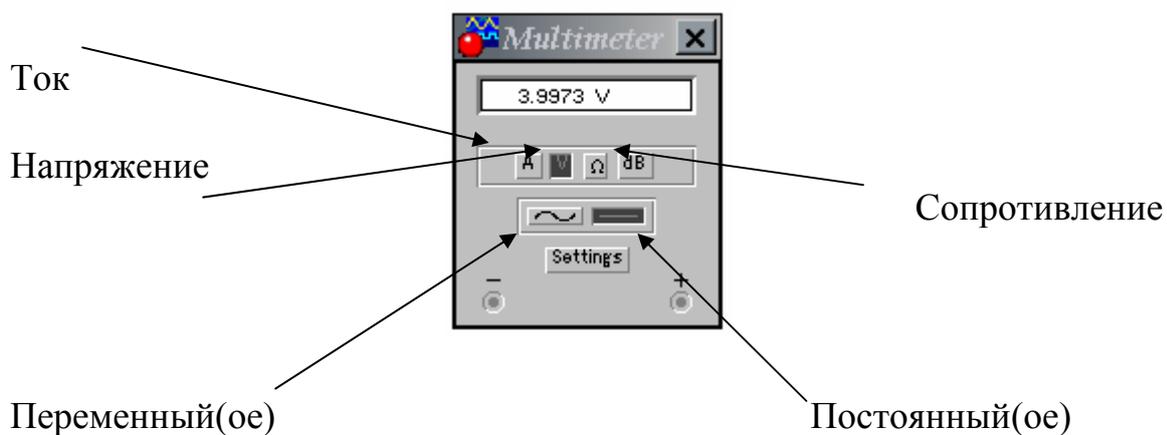


Рисунок 2.4 Передняя панель мультиметра

Пример включения приборов показан на рисунке 2.5

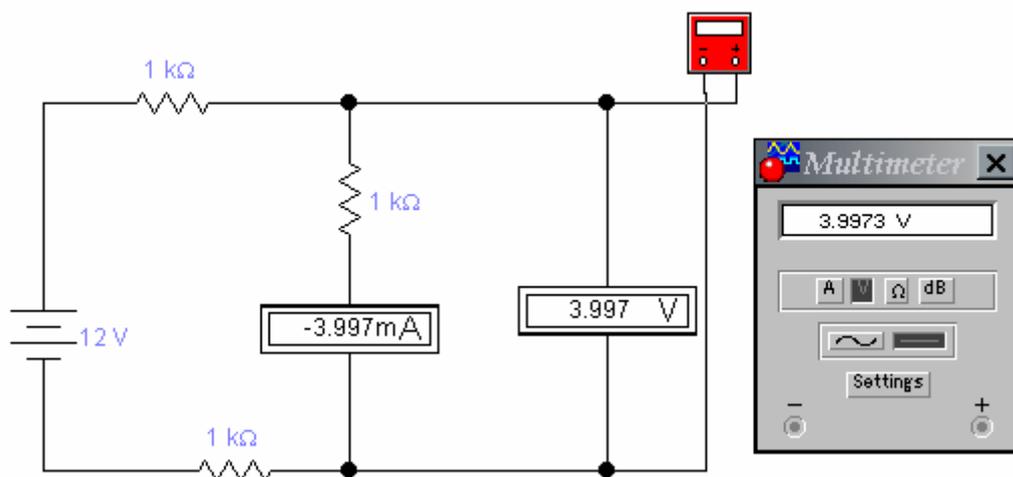


Рисунок 2.5 Схема включения мультиметра

 Осциллограф. Прибор предназначен для визуального отображения сигналов. Имеет два входа, т.е. на один вход может быть подан входной, а на другой вход выходной сигналы схемы. По полученной осциллограмме можно произвести сравнение сигналов по амплитуде, фазе и т.д. Изучение данного прибора выполним на конкретном примере, в данном случае исследуем работу на примере так называемого фазовращающего звена.

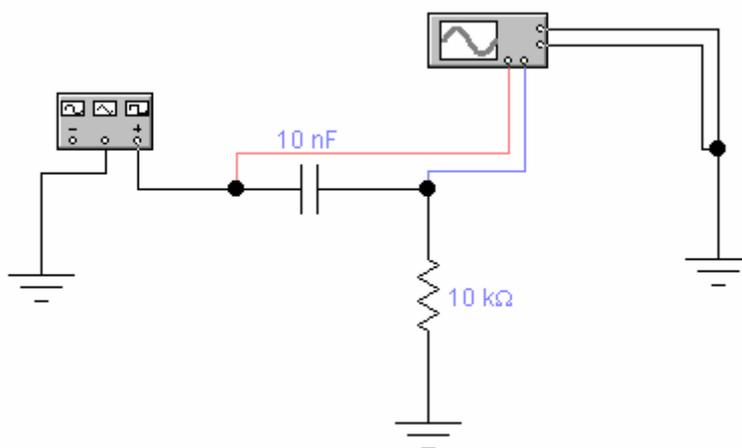


Рисунок 2.6 Схема подключения осциллографа и генератора

Подключение приборов к схеме, рисунок 2.6

Лицевая панель осциллографа имеет четыре клеммы:

нижняя левая – вход первого канала,

нижняя правая – вход второго канала,

правая верхняя – земля,

правая нижняя – служит для подключения внешнего источника сигнала.

Для того, чтобы на экране осциллографа сигналы каналов отображались разными цветами, надо на проводе подключенному ко входу прибора, два раза щелкнуть левой клавишей мыши и в открывшемся окне выбрать цвет. Этот цвет и будет использован для отображения сигнала, поданного на этот вход.

2.3 Настройка осциллографа:

После подключения осциллографа к схеме, наблюдение изображения на экране осуществляется посредством двойного щелчка по прибору. Элементы управления находятся на панели осциллографа, рисунок 2.7

Панель содержит четыре группы кнопок: «Time base», «Trigger», «Channel A», «Channel B» и еще отдельно расположенную кнопку Expand.

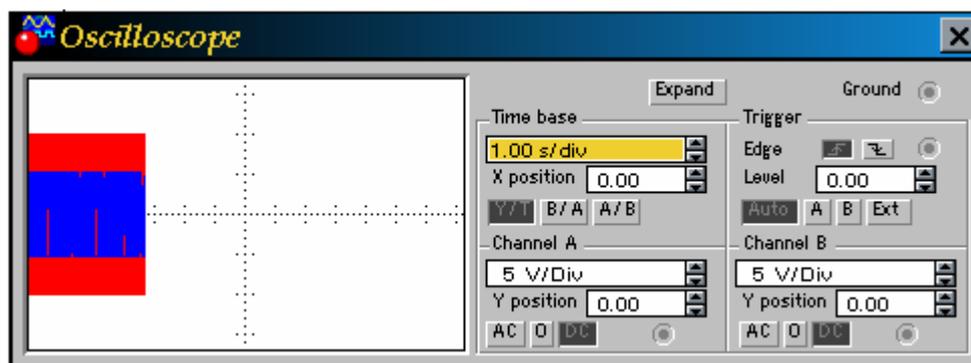


Рисунок 2.7 Передняя панель осциллографа

Группа «Time base» - предназначена для управления разверткой экрана осциллографа.

Самые нижние три кнопки «Y/T», «B/A» и «A/B» задают режим развертки:

Включен режим «Y/T» - по вертикали напряжение сигнала, по горизонтали время.

Включен режим «B/A» - по вертикали сигнал канала B, по горизонтали A.

Включен режим «A/B» - по вертикали сигнал канала A, по горизонтали B.

Самое верхнее поле этой группы определяет длительность развертки – секунда/деление экрана. По умолчанию стоит 1.00s/div, что означает - одна клетка экрана осциллографа соответствует одной секунде. Попробуем уменьшить значение этого поля до значения 2.00ms/div – т.е. 2 миллисекунды на деление. Наблюдаем на экране два непрерывных гармонических сигнала, анализируем их:

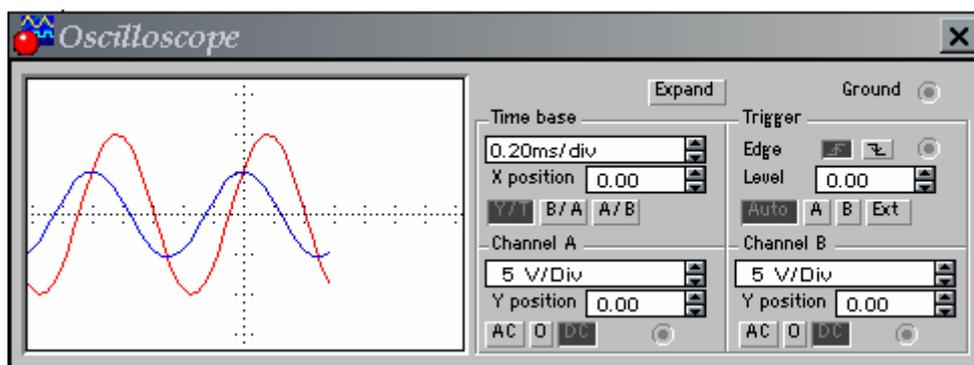


Рисунок 2.8 Развертка по оси X

Изменяя длительность развертки, можно растягивать или сжимать сигналы вдоль оси OX, рисунок 2.8

Третье поле этой группы «X position» - служит для перемещения сигналов на экране осциллографа вправо или влево вдоль оси OX.

Группа «Trigger» - для режима развертки «Y/T» предусмотрен ждущий режим развертки с запуском по переднему фронту или по срезу запускающего сигнала. Выбирается в строке Edge соответственно – передний фронт и срез.

Level – задается уровень запуска. Ниже расположены четыре кнопки, которые указывают, откуда производится запуск:

AUTO – запуск от канала A или B,

A- запуск от канала A,

B- запуск от канала B,

Ext- запуск от внешнего источника, подключаемого к зажиму в блоке управления Trigger.

Группа «Channel A» и «Channel B» - с помощью этих групп кнопок осуществляется настройка каналов A и B соответственно.

Самые верхние поля этих групп служат для указания того, сколько вольт содержится в одном делении экрана осциллографа, т.е. позволяют масштабировать сигналы вдоль оси OY, рисунок 2.9.

Изменим значения в этих полях, например на 10V/div. Видим, что сигналы сжались относительно оси OY.

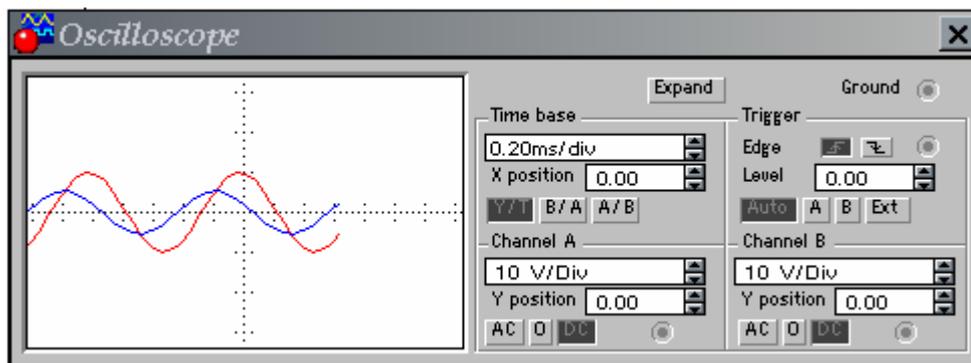


Рисунок 2.9 Разверка по оси Y

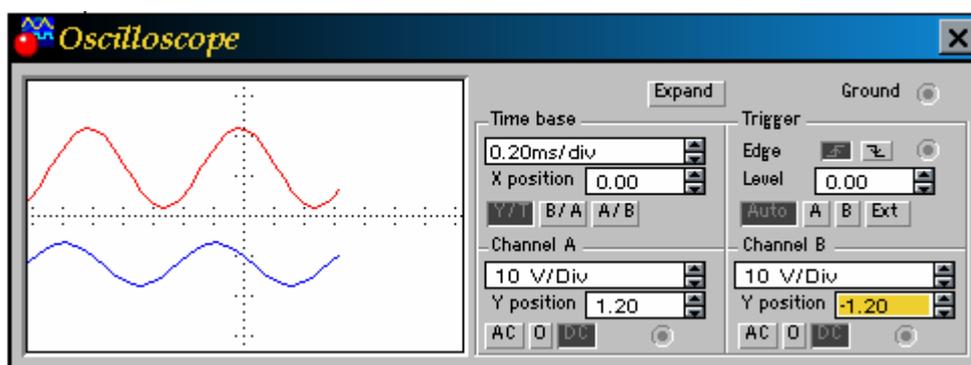


Рисунок 2.10 Смещение по оси Y

Аналогично с полем «X position» группы «Time base», поле «Y position» позволяет смещать сигналы каналов вдоль оси OY. Сместим входной сигнал вверх, а выходной вниз, рисунок 2.10.

И, наконец, последние комбинации кнопок этих групп AC, 0, DC, необходимые для выбора режима по входу:

AC – наблюдение сигналов только переменного тока,

0 – выходной зажим замыкается на землю,

DC – режим по умолчанию, позволяющий проводить измерения как постоянного, так и переменного тока.

Кнопка Expand – при нажатии на эту кнопку экран осциллографа увеличивается и изменяется лицевая панель, рисунок 2.11.

Этот вид экрана осциллографа имеет дополнительные средства для анализа сигналов. Так, по обеим сторонам экрана находятся две визирные

планки синего и красного цвета, которые за треугольные ушки (вверху) могут быть передвинуты в любое место экрана.

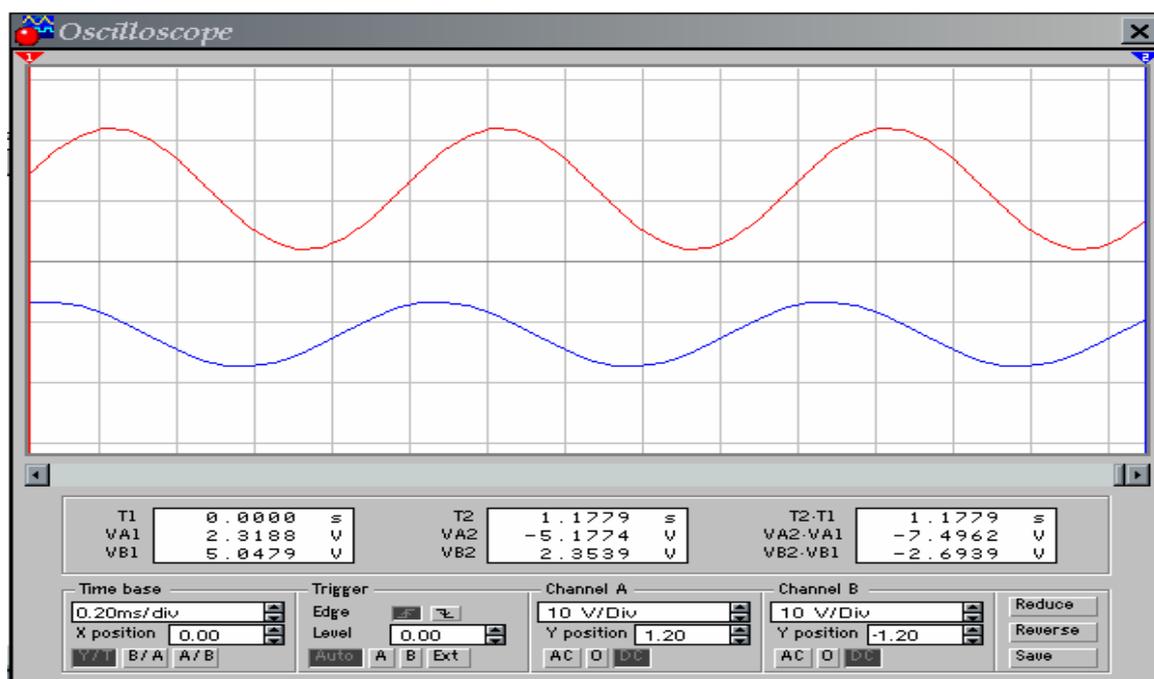


Рисунок 2.11 Увеличенный вид экрана осциллографа

2.4 Как пользоваться визирными линиями.

Как измерить амплитуду сигнала.

- Нажимаем кнопку Expand на лицевой панели осциллографа.
- Если исследуемый сигнал поступает с первого канала, то используем 1-ю визирную линию (красного цвета), если со второго – 2-ю визирную линию (синего цвета), рисунок 2.12.
- Подводим мышь к ушку требуемой визирной линии, нажимаем левую кнопку и, не отпуская ее, перемещаем линию в то место экрана, где требуется измерить амплитуду сигнала.
- Отпускаем кнопку.

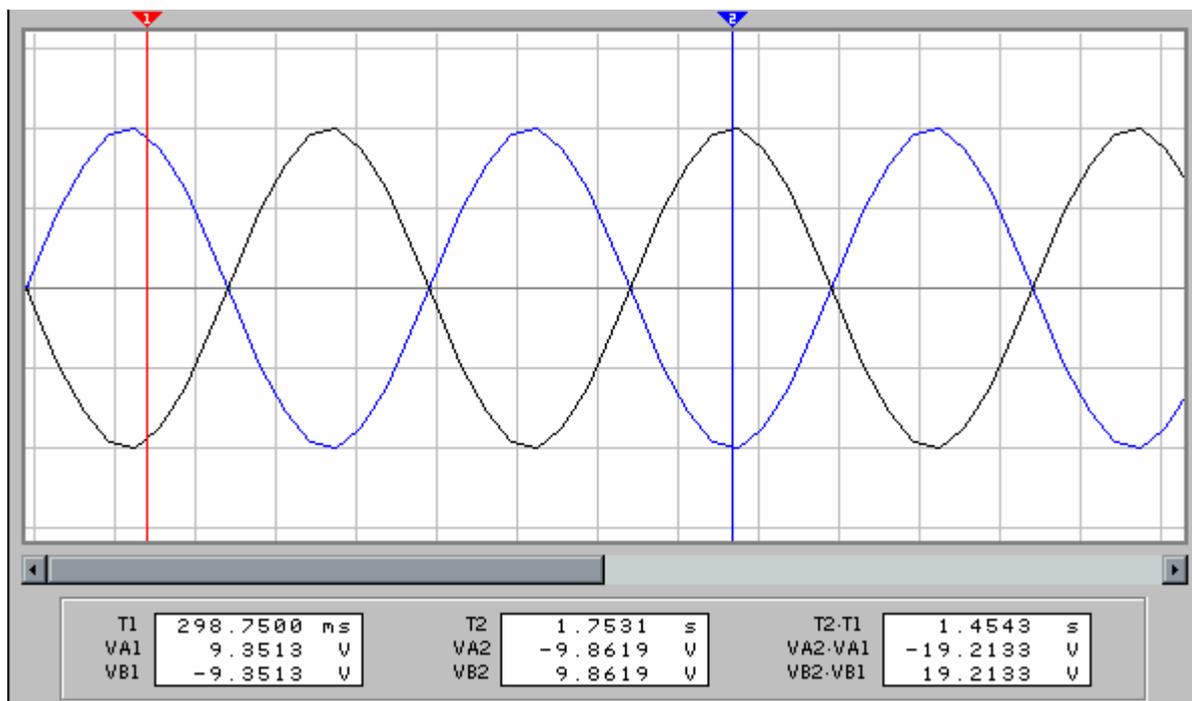


Рисунок 2.12 Пример работы с визирными линейками

Информационное окно 1-й визирной линии находится в нижнем левом углу экрана осциллографа и содержит три строки:

T1 – время, прошедшее с начала включения и до того, где расположена 1-я визирная линия (в нашем примере равное 298.7500ms),

VA1 – амплитуда сигнала 1-го канала (в нашем примере равная 9.3513V),

VB1 - амплитуда сигнала 2-го канала (в приведенном примере равная - 9.3513V).

Информационное окно 2-й визирной линии находится внизу посередине экрана осциллографа и содержит три строки:

T2 – время, прошедшее с начала включения и до того где расположена 2-я визирная линия (в нашем примере равное 1.7531s),

VA2 – амплитуда сигнала 1-го канала (в приведенном примере равная - 9.8619V),

VB2 - амплитуда сигнала 2-го канала (в приведенном примере равная 9.8619V).

Результирующее информационное окно находится в нижнем правом углу экрана осциллографа и содержит три строки:

T2-T1 – интервал времени между визирными линиями (в приведенном примере 1.4543s),

VA2-VA1 – разность амплитуд сигнала 1-го канала в приведенном примере равная -19.2133V),

VB2-VB1 – разность амплитуд сигнала 2-го канала(в приведенном примере равная 19.2133V).

Как измерить период сигнала.

- Нажимаем кнопку Expand на лицевой панели осциллографа, рисунок 2.13.
- Если исследуемый сигнал поступает с первого канала, то используем 1-ю визирную линию (красного цвета), если со второго – 2-ю визирную линию (синего цвета).
- Подводим мышь к ушку 1-й визирной линии, нажимаем левую кнопку и, не отпуская ее, перемещаем линию на начало периода сигнала.
- Подводим мышь к ушку 2-й визирной линии, нажимаем левую кнопку и, не отпуская ее, перемещаем линию в конец периода сигнала.
- Отпускаем кнопку.
- В строке T2-T1 результирующего информационного окна будет отображена длительность периода сигнала.

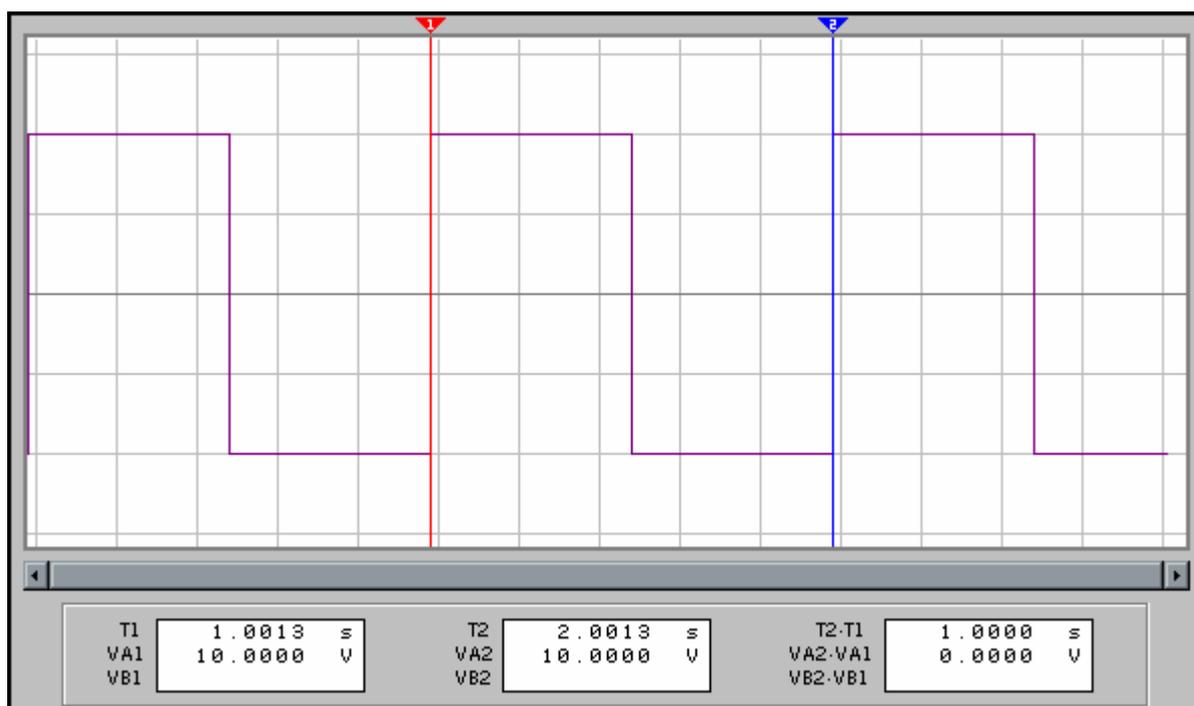


Рисунок 2.13 Измерение периода следования импульса

Выше приводится пример измерения периода сигнала, равный 1.0000 секунде.

Как измерить коэффициент усиления.

- Нажимаем кнопку Expand на лицевой панели осциллографа.
- Если исследуемый сигнал поступает с первого канала, то используем 1-ю визирную линию (красного цвета), если со второго – 2-ю визирную линию (синего цвета).
- Подводим мышь к ушку 1-й визирной линии, нажимаем левую кнопку и, не отпуская ее, перемещаем линию в точку максимума первого сигнала.
- Подводим мышь к ушку 2-й визирной линии, нажимаем левую кнопку и, не отпуская ее, перемещаем линию в точку максимума второго сигнала.
- Отпускаем кнопку.
- Вычисляем отношение $VA1/VB1$ – что и будет коэффициентом усиления.

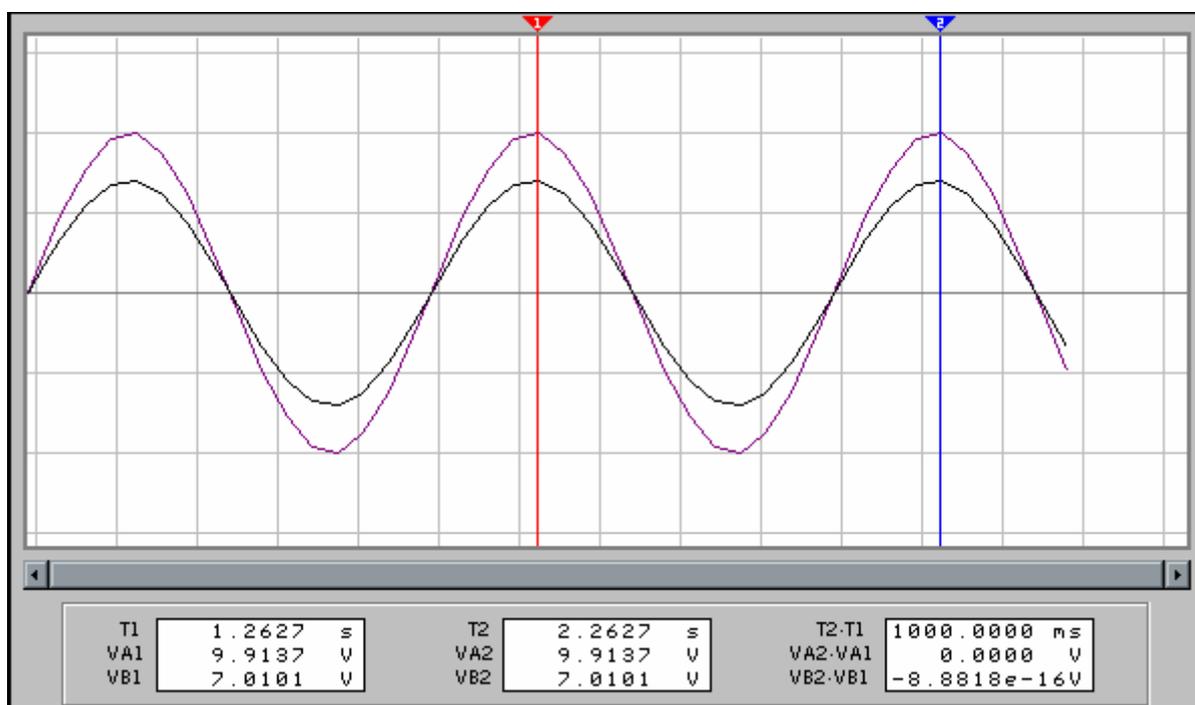


Рисунок 2.14 Измерение коэффициента усиления

В примере, приведенном выше, коэффициент усиления = $9.9137 / 7.0101$

На панели есть еще три кнопки:

Reduce – вернуться к первоначальному виду экрана осциллографа,

Reverse – инвертировать цвета экрана,

Save – записать осциллограмму в файл.

2.5 Специальные приборы.



В данном разделе рассматривается еще прибор, который используется практически во всех лабораторных работах – генератор сигналов.

Найти его можно в библиотеке «Instruments», где он имеет название «Function Generator». С помощью этого универсального средства можно формировать сигналы с нужной амплитудой, частотой, скважностью и уровнем постоянной составляющей. Для настройки генератора под конкретную задачу необходимо выполнить двойной щелчок на нем левой клавишей мыши. Откроется окно настройки:

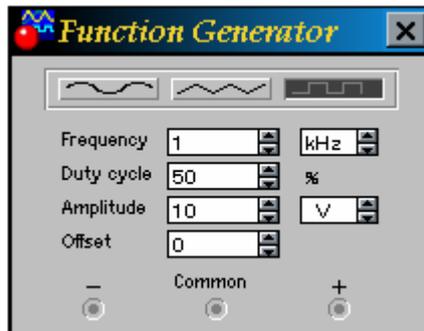


Рисунок 2.15 Передняя панель генератора импульсов

В верхней части, рисунок 2.15, расположена группа из трех условных изображений, с помощью которых задается форма сигнала: синусоидальная (левая), пилообразная (посередине) и меандр (справа).

Ниже расположены четыре строки:

Frequency – в этом поле задается частота генерируемых колебаний,

Duty cycle – в этом поле задается скважность импульсов,

Amplitude – в этом поле задается амплитуда сигнала,

Offset – в этом поле задается уровень постоянной составляющей.

Пример работы генератора приведен на рисунке 2.16

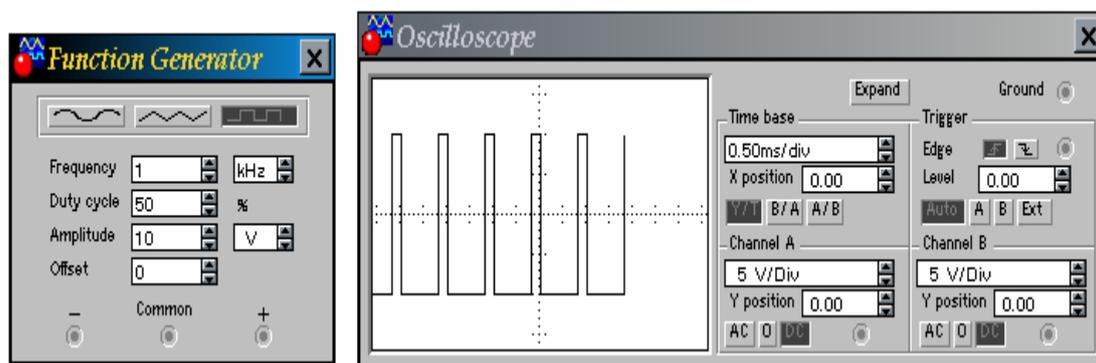


Рисунок 2.16 Передние панели генератора и осциллографа

На экране осциллографа, рисунок 2.16, мы видим сформированный сигнал с амплитудой 10В, скважностью 50%, частота следования 1кГц, постоянная составляющая отсутствует.

Как развернуть элемент

При необходимости развернуть элемент или, поменять местами выводы для того, чтобы проводники не пересекались, есть специальная группа кнопок, предназначенная для управления выделенным компонентом.

Группа состоит из 3-х кнопок:



Чтобы воспользоваться этими кнопками, необходимо на элементе один раз нажать левую клавишу мыши (элемент выделится красным цветом), после этого нажать на одну из этих кнопок в соответствии с тем, относительно какой оси вы хотите развернуть элемент.

Первая кнопка – поворот против часовой стрелки.

Вторая кнопка – поворот относительно оси OY.

Третья кнопка – поворот относительно оси OX.

2.6 Проектирование схемы

Проектирование электронного устройства предлагается разобрать на примере простейшей схемы однополупериодного выпрямителя, последовательность работы со схемой в среде EWB разобьем на несколько этапов, каждый из которых будет сопровождаться детальным описанием, иллюстрациями и последовательностью действий для его выполнения.

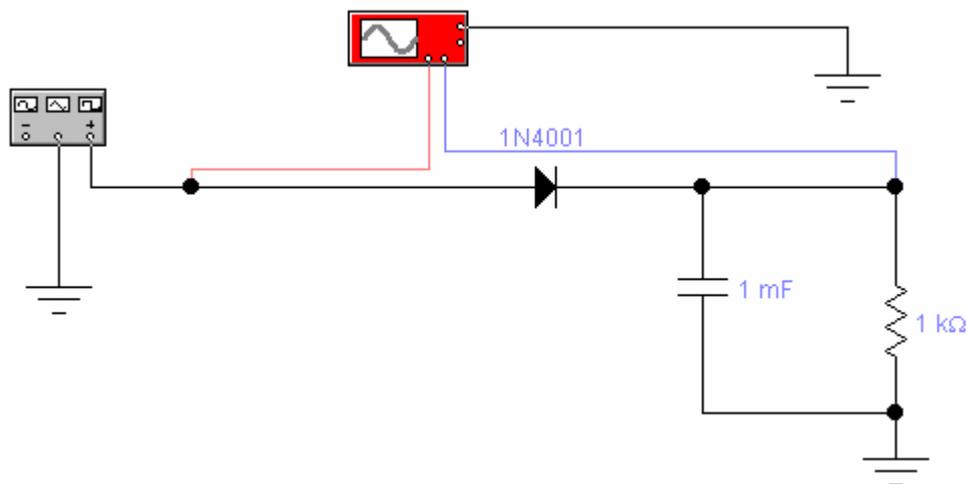


Рисунок 2.17 Схема однополупериодного выпрямителя в среде EWB

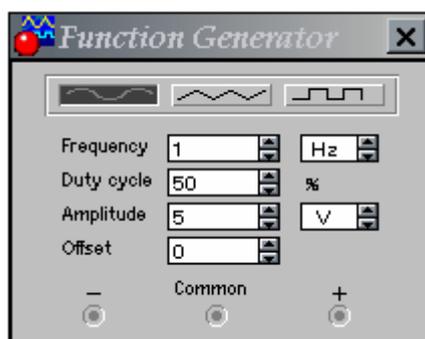


Рисунок 2.18 Панель генератора импульсов

И результаты работы схемы на экране осциллографа:

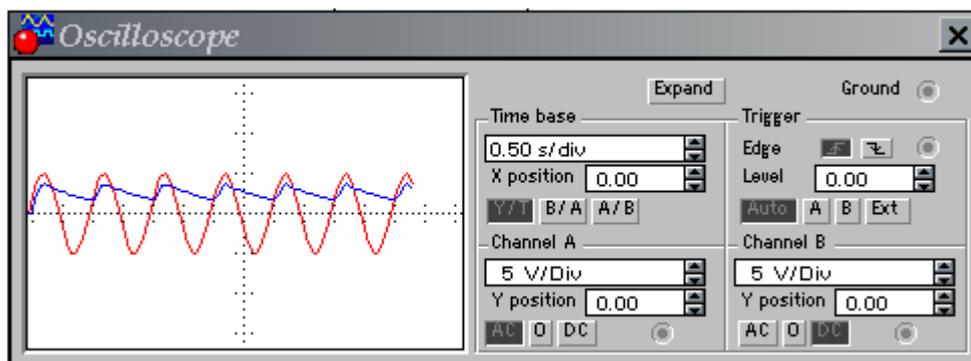


Рисунок 2.19 Эпюры напряжений

1-й этап проектирования – Выбор компонентов и измерительных приборов

Всякая электронная схема состоит из компонентов и элементов и первое с чего следует начать – это подобрать соответствующие элементы. Для того чтобы собрать схему выпрямителя нам понадобятся: диод 1N4001, конденсатор, резистор, три компонента, «земля» и генератор сигналов, и осциллограф.

Постепенно перенесем все элементы на рабочую область экрана, для этого:

- Переместим курсор мыши на пиктограмму библиотеки «Sources» и нажмем левую клавишу мыши.
- В открывшемся окне «Sources» находим элемент «земля», нажимаем левую клавишу мыши и, не отпуская ее, переносим элемент на рабочую область экрана.
- Выполняем предыдущее действие до тех пор, пока все элементы не окажутся на рабочей области



Рисунок 2.20 Выбор компонентов

2-й этап проектирования – Выбор номиналов элементов.

Установка номиналов осуществляется с помощью нажатия на компонент правой клавишей мыши и после выпадения окна в нем устанавливаются номиналы.

После выполнения первых двух этапов, экран выглядит так:

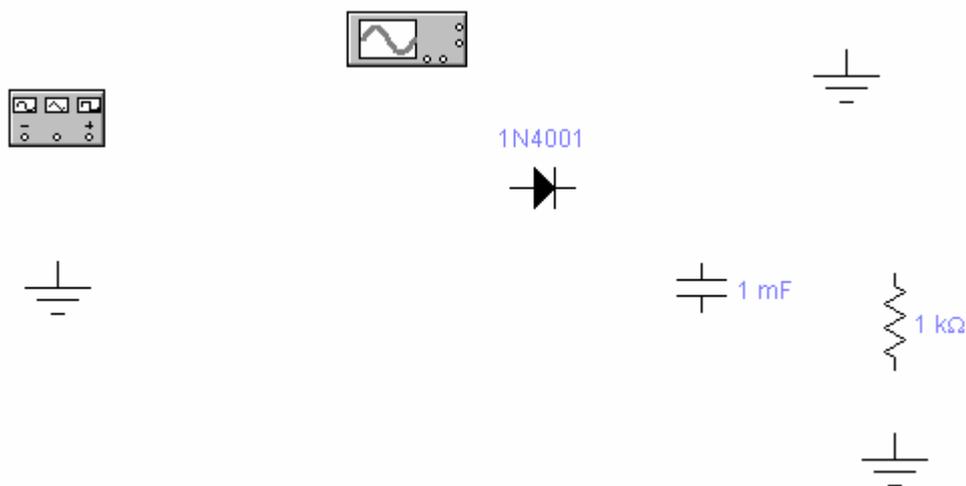


Рисунок 2.21 Вид элементов на рабочей области

3-й этап проектирования – Соединение элементов между собой.

Для соединения двух элементов между собой необходимо:

- Подвести курсор мыши к любому из выводов элемента. В результате должна появиться черная точка.
- Нажать левую клавишу мыши и, не отпуская ее, переместить курсор к выводу другого элемента, с которым нужно соединить первый элемент. В результате должна появиться черная точка.
- Отпустить клавишу мыши. Появится проводник, соединяющий два элемента.

После выполнения этих действий внешний вид экрана выглядит так:

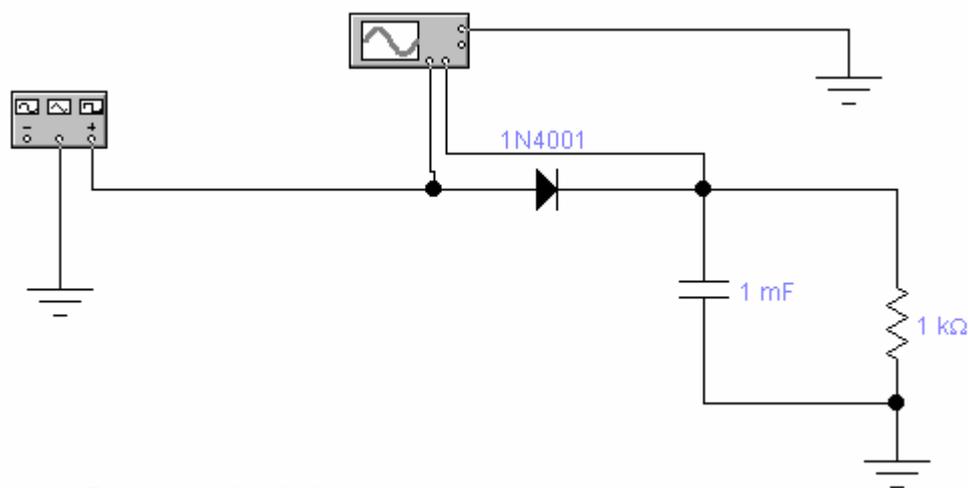


Рисунок 2.22 Соединение компонентов в схему

4-й этап проектирования – Настройка генератора сигналов.

Как производится настройка, описано выше в пункте 2.5.

5-й этап проектирования – Моделирование схемы.

Для начала моделирования необходимо в верхнем правом углу экрана перевести выключатель из положения «0» в положение «1».

Проектирование схем в среде EWB подробно изложен в методических указаниях (8).

2.7 Анализ работы схемы в среде EWB.

Меню Analysis

На рисунке 2.23 показан фрагмент окна программы EWB. Рассмотрим команды меню Analysis в порядке их следования.

Команда **Activate** (CTRL+G) - запуск моделирования.

Команда **Resume** (F9) - прерывание моделирования.

Команда **Stop** (CTRL+T) - остановка моделирования. Эта и первая команды могут быть выполнены также нажатием кнопки , расположенной в правом верхнем углу экрана.

Команда **Analysis Options...** (CTRL+Y) — набор команд для установки параметров моделирования.

Команда **DC Operating Point** - расчет режима по постоянному току; в этом режиме из моделируемой схемы исключаются все конденсаторы и закорачиваются все индуктивности.

Команда **AC Frequency...** - расчет частотных характеристик.

Покажем возможности системы моделирования на примере фильтра высоких частот на операционном усилителе (ОУ), изображенном на рисунке 2.24.

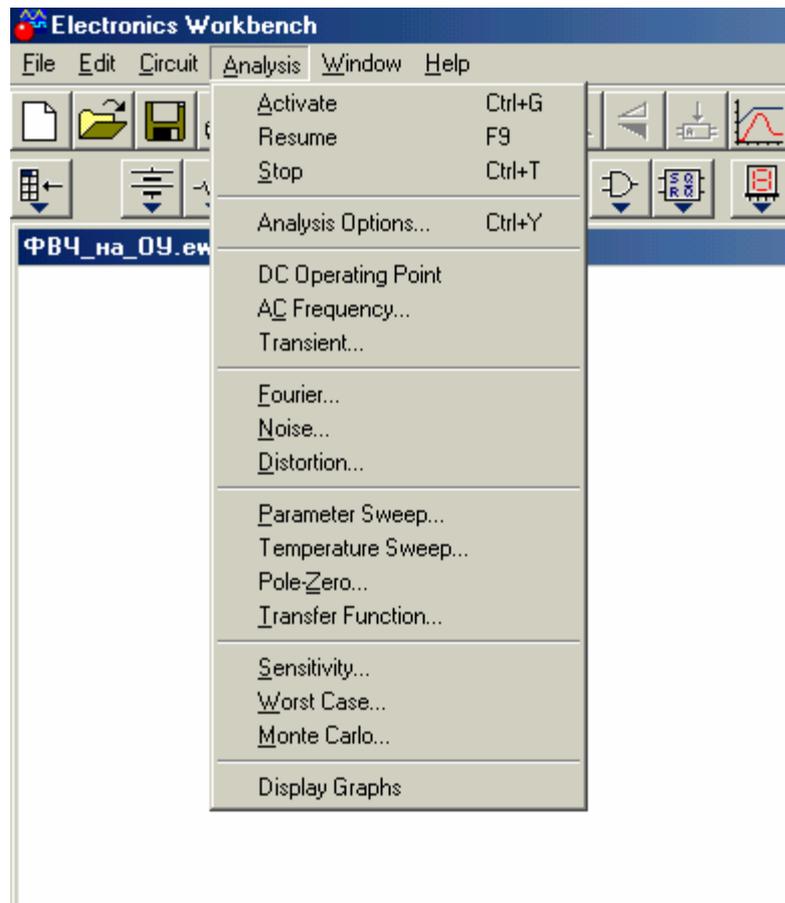


Рисунок 2.23 Фрагмент окна программы EWB

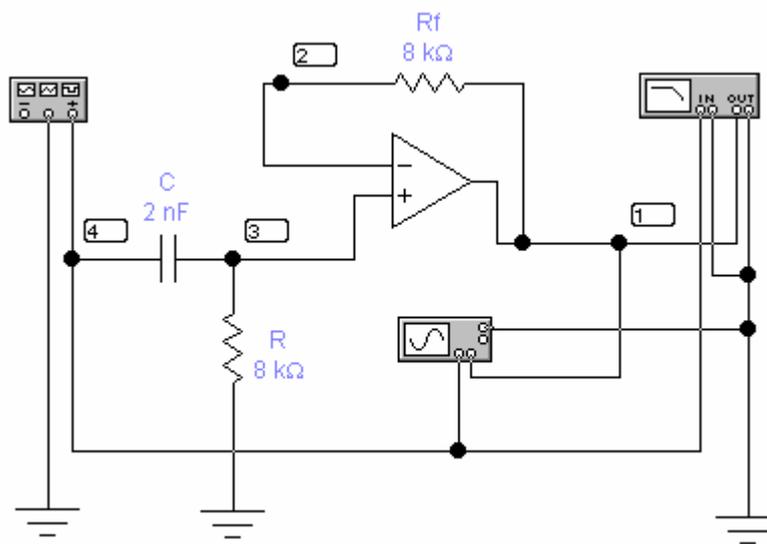


Рисунок 2.24 – Схема ФВЧ

Выполнение команды начинается с задания в диалоговом окне следующих параметров:

- FSTART, FSTOP - границы частотного диапазона (минимальное и максимальное значения частоты соответственно);
- Sweep type - масштаба по горизонтали: декадного (Decade), линейного (Linear) или октавного (Octave);
- Number of points - числа рассчитываемых точек;
- Vertical scale - масштаба по вертикали линейного (Linear), логарифмического (Log) или в децибелах (Decibel);
- Nodes in circuit - списка всех НОД цепи (нода - точка соединения выводов двух и более компонентов);
- Nodes for analysis - номеров НОД, для которых рассчитываются характеристики схемы; перечень таких НОД устанавливается нажатием кнопок Add -> (добавить) и <- Remove (удалить);
- Simulate - кнопка запуска моделирования.

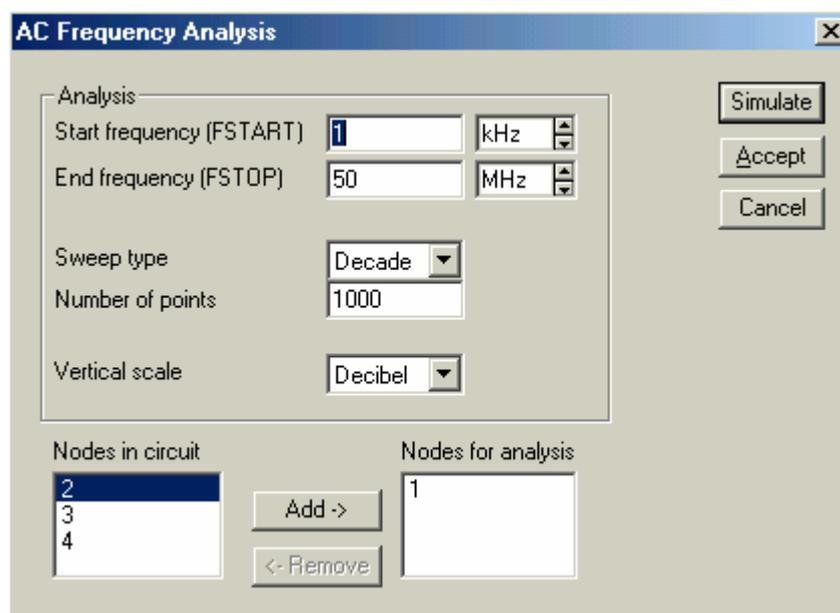


Рисунок 2.25 Окно выбора параметров моделирования в режиме расчета частотных характеристик

Результаты моделирования рассматриваемого фильтра представлены на рисунке 2.26 в виде амплитудно-частотной (АЧХ — верхняя кривая) и частотно-фазовой (ФЧХ — нижняя кривая) характеристик. Для получения точных отсчетов с помощью двух перемещаемых визирных линеек необходимо нажать кнопку . Заметим, что аналогичные характеристики можно получить также и с помощью измерителя АЧХ-ФЧХ.

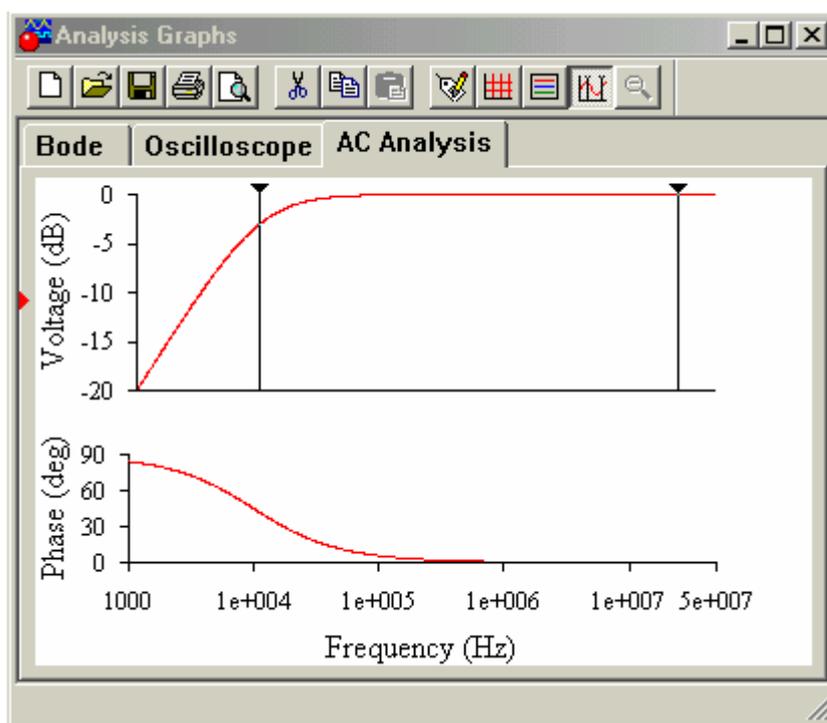


Рисунок 2.26 Результаты расчета частотных характеристик фильтра

Дополнительные действия с результатами расчета выполняются с помощью командных кнопок, расположенных в верхней части окна на рисунке 2.26. Рассмотрим назначение третьей группы кнопок.

Кнопка  Properties — параметры графического изображения; при нажатии этой кнопки открывается диалоговое окно, показанное на рисунке 2.27, с закладками General, Left Axis, Bottom Axis, Right Axis, Top Axis и Traces.

Меню окна General состоит из четырех пунктов:

- **Title** — редактирование названия 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 одной или всех выбранных НОД схемы. На рисунке 2.28 представлены табличные данные для АЧХ, изображенной на рисунке 2.26.

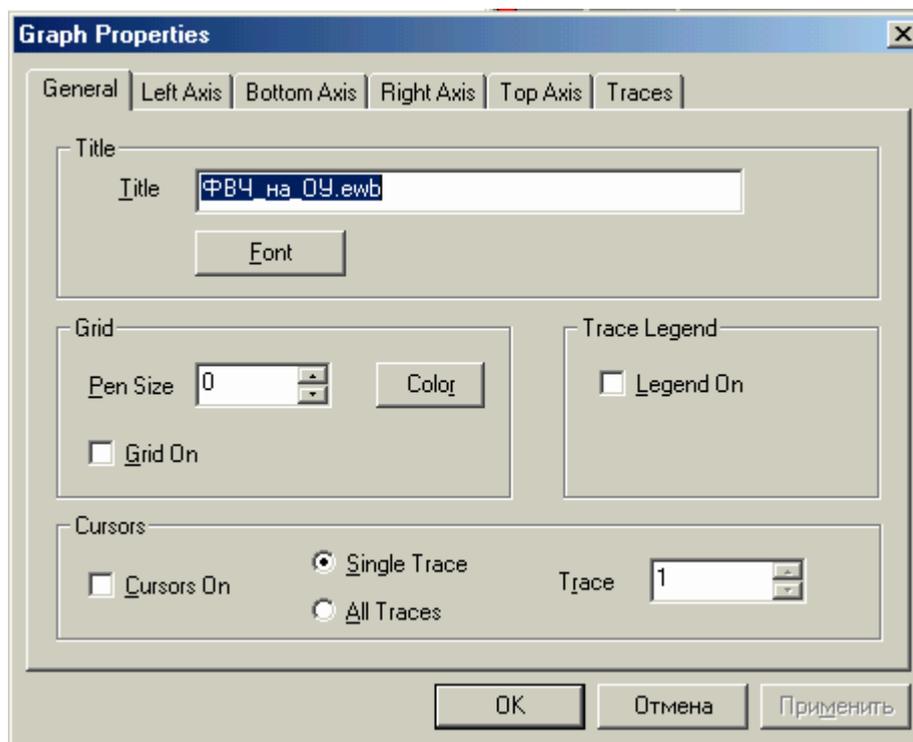


Рисунок 2.27 Окно оформления результатов, закладка General

x1	9.5749	K
y1	-3.1791	
x2	23.8429	M
y2	-9.4443	u
dx	23.8333	M
dy	3.1791	
1/dx	41.9581	n
1/dy	314.5505	m
min x	1.0000	K
max x	49.9015	M
min y	-19.9977	
max y	-8.8693	u

Рисунок 2.28 Табличные данные для АЧХ

При выборе заставки Left Axis открывается диалоговое окно оформления результатов моделирования, представленное на рисунке 2.29.

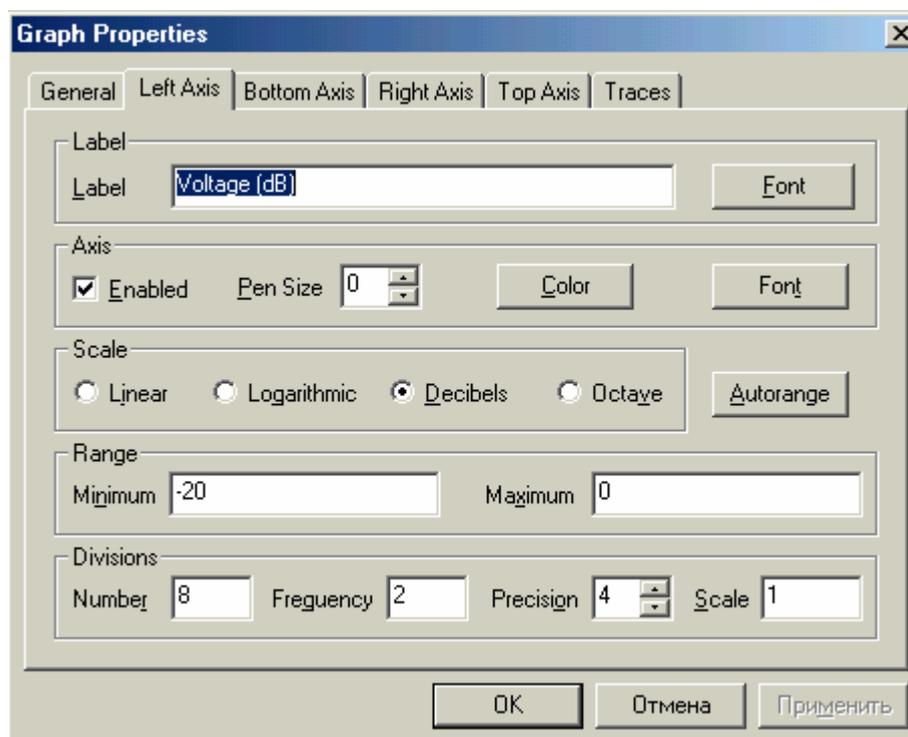


Рисунок 2.29 Окно оформления результатов, закладка Left Axis

Меню окна содержит следующие пункты:

- **Label** - редактирование обозначения оси Y с возможностью изменения шрифта и его атрибутов;
- **Axis** - изменение толщины линии оси Y и ее цвета;
- **Scale** - установка масштаба по оси Y (линейного, логарифмического и т.д.);
- **Range** - диапазон значений по оси Y;
- **Division** - количество разбиений в одном большом делении сетки.

Для заставок Bottom Axis, Right Axis и Top Axis окна настроек имеют аналогичный вид. Для заставки Traces окно настроек представлено на рисунке 2.30.

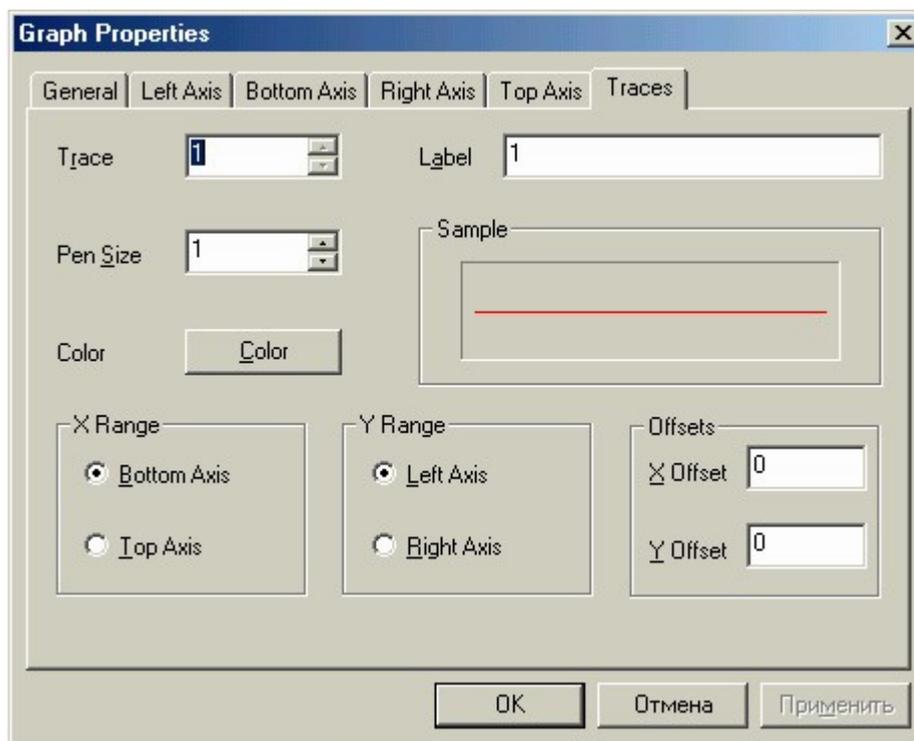


Рисунок 2.30 Окно оформления результатов, закладка Traces

Меню окна состоит из следующих пунктов:

- **Trace** - выбор номера контрольной точки, для которой редактируется изображение характеристики;

- **Label** - задание метки рассматриваемой точки, на рисунке 2.30 она совпадает с номером контрольной точки, однако здесь может быть размещена и другая информация, например, комментарии;

- **Pen Size** - выбор ширины линии для изображения характеристики;

- **Color** - выбор цвета линии;

- **Sample** - образец линии;

- **X Range** - выбор оформления для оси X, аналогично выбору в окне Bottom Axis или Top Axis;

- **Y Range** - выбор оформления для оси Y; аналогично выбору в окне Left Axis или Right Axis;

- **Offsets** - установка смещения координат по осям X и Y.

Кнопки  имеют соответственно названия **Toggle Grid** (нанести сетку), **Toggle Legend** (нанести обозначение контрольной точки), **Toggle Cursor** (вывести числовые данные, изображенные на рисунке 2.28), **Restore Graph** (восстановить графическое обозначение, т. е. проигнорировать введенные изменения).

Команда **Transient...** - расчет переходных процессов.

Команда **Fourier...** - проведение Фурье-анализа (спектрального анализа).

Команда **Noise...** - анализ спектра внутренних шумов.

Команда **Distortion...** - анализ нелинейных и интермодуляционных искажений.

Команда **Parameter sweep...** - вариация параметров. Исходные данные для выполнения команды задаются в диалоговом окне, изображенном на рисунке 2.31.

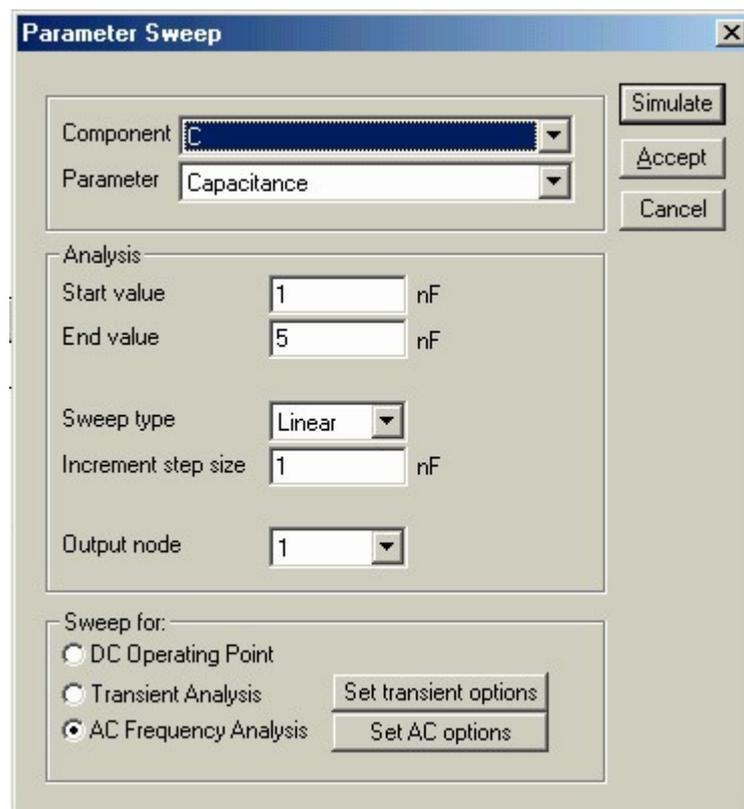


Рисунок 2.31 Окно установки параметров моделирования при многовариантном частотном анализе

В окне указываются следующие параметры:

- **Component** - позиционное обозначение элемента схемы, один из параметров которого будет варьироваться в процессе моделирования (в данном случае выберем схему фильтра, изображенную на рисунке 2.24, а в качестве параметра - ёмкость переходного конденсатора C);

- **Parameter** - название параметра компонента, выбранного из списка (в данном случае - ёмкость конденсатора Capacitance);

- **Start value, End value** – параметры, задающие диапазон варьируемой величины (максимум и минимум);

- **Sweep type** - тип масштаба варьируемой величины;

- **Increment step size** - шаг изменения варьируемой величины;

- **Output node** - выходная контрольная точка схемы.

В нижней части окна перечислены режимы моделирования, для которых может быть проведён многовариантный анализ. В правом нижнем углу находятся кнопки для установки параметров этих режимов. В качестве примера на рисунке 2.32 приведено окно для установки параметров частотного анализа. С помощью кнопки Load from AC Analysis можно использовать установки из ранее проведенного частотного анализа.

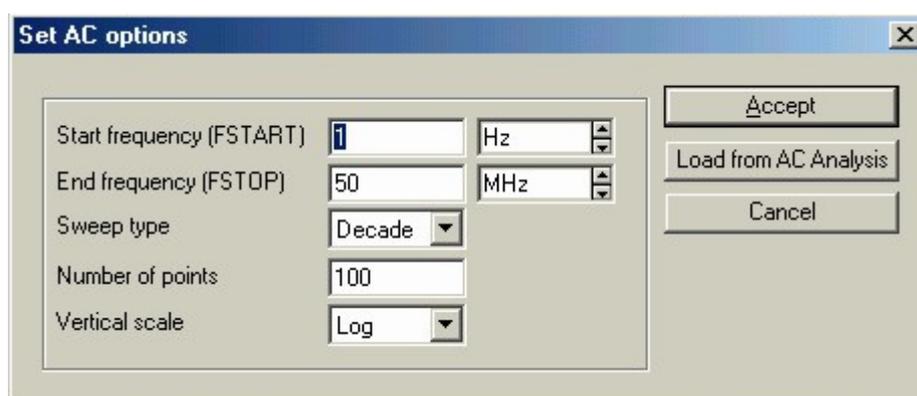


Рисунок 2.32 Окно для установки параметров частотного анализа

Результатом моделирования фильтра с установками согласно рисунку 2.31 является регистрация изменений АЧХ (верхняя кривая) и ФЧХ фильтра (нижняя кривая) при вариации ёмкости переходного конденсатора C в

диапазоне от 1 до 5нФ. Частотные характеристики изображены на рисунке 2.33.

При определении значения ёмкости конденсатора, для которого получена та или иная кривая, необходимо курсор мыши подвести к соответствующей кривой, при этом значение ёмкости будет показано в левом нижнем углу графика,

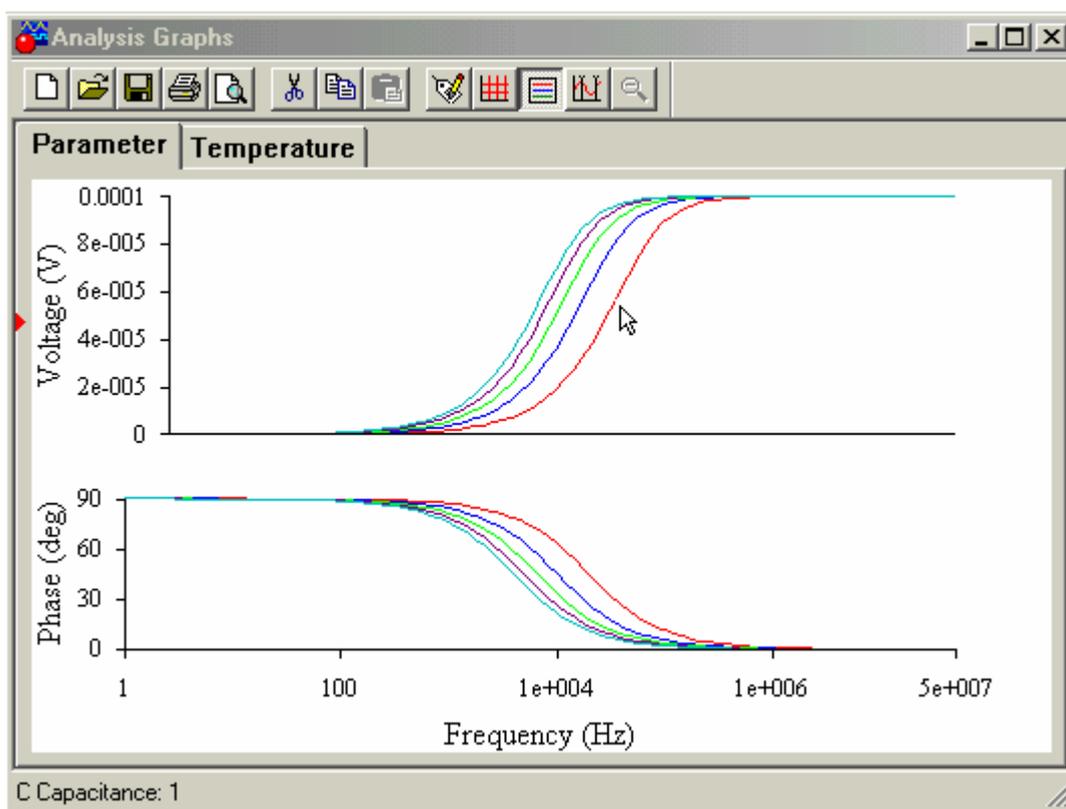


Рисунок 2.33 Результаты многовариантного анализа фильтра при изменении ёмкости переходного конденсатора в диапазоне от 1 до 5нФ

Или можно нажать кнопку , в полученном окне, представленном на рисунке 2.34, показаны: справа - цвет кривой на графике, слева – значение варьируемой величины.

Voltage [V]	
	C Capacitance: 1
	C Capacitance: 2
	C Capacitance: 3
	C Capacitance: 4
	C Capacitance: 5

Рисунок 2.34 Таблица легенд графиков

Команда **Temperature sweep...** - температурные испытания моделируемой схемы. Диалоговое окно для установки параметров моделирования изображено на рисунке 2.35. В нем указывается температурный диапазон испытаний.

Команда **Pole-Zero...** - расчёт карты нулей и полюсов передаточной характеристики моделируемой схемы.

Команда **Transfer Function...** - расчёт передаточных функций.

Команда **Sensitivity...** - расчёт относительной чувствительности характеристик схемы к изменениям параметров выбранного компонента при частотном анализе (AC) или при расчёте статического режима (DC).

Команда **Worst Case...** - расчёт значений параметров компонентов схемы в режиме DC или AC при предельных отклонениях её характеристик.

Команда **Monte Carlo...** - статистический анализ по методу Монте-Карло.

Команда **Display Graphs** - этой командой вызываются на экран графики результатов выполнения одной из команд моделирования. Если в процессе моделирования использовано несколько команд меню Analysis, то результаты их выполнения накапливаются и отображаются в виде закладок с наименованием команд, которые могут перемещаться кнопками, расположенными в правом верхнем углу окна. Это позволяет оперативно просматривать результаты моделирования без его повторного проведения.

Результатом моделирования фильтра при указанных параметрах на рисунке 2.35, является вывод на экран АЧХ (верхняя кривая) и ФЧХ фильтра (нижняя кривая) при разных температурах. Соответствующие характеристики представлены на рисунке 2.36

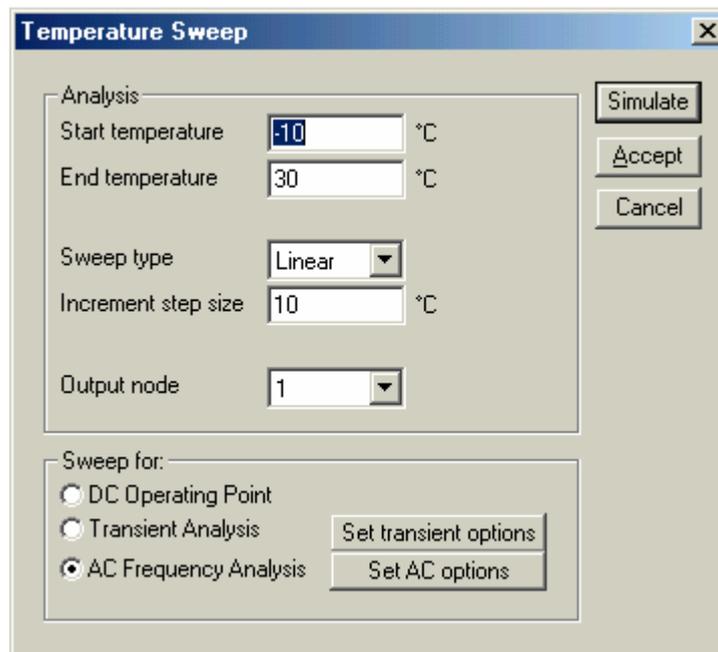


Рисунок 2.35 Окно установки параметров моделирования при изменении температуры в диапазоне от минус 10 до плюс 30 °C

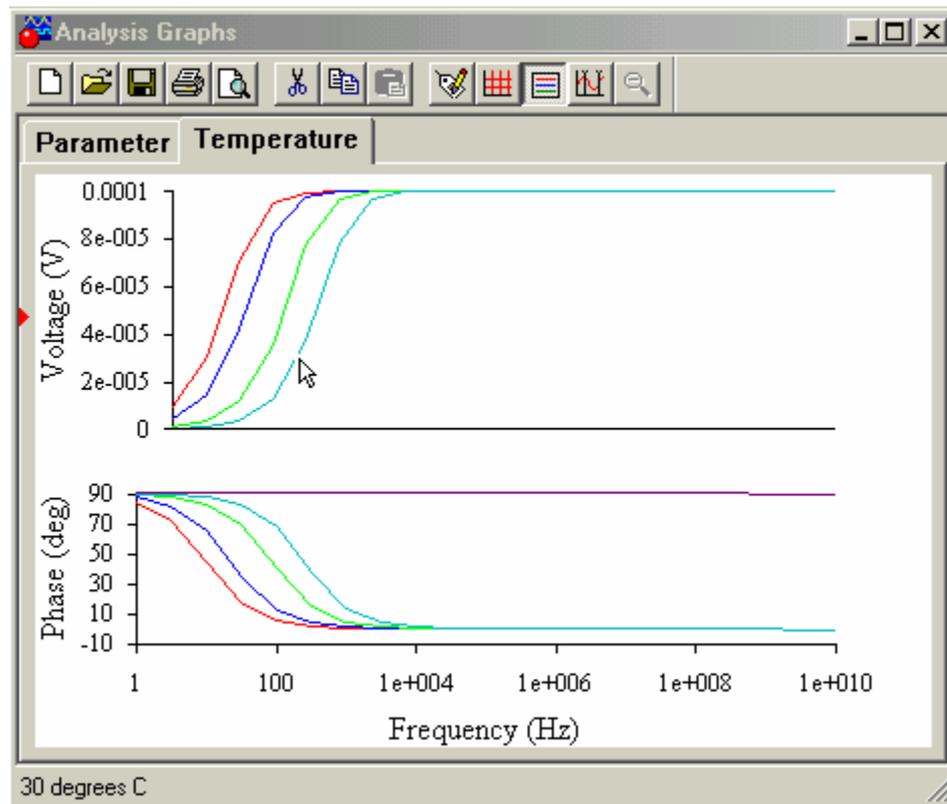


Рисунок 2.36 Результат испытания фильтра при изменении температуры

При определении значения температуры, для которой получена та или иная кривая, необходимо курсор мыши подвести к соответствующей кривой, при этом значение ёмкости будет показано в левом нижнем углу графика.

Или можно нажать кнопку , в полученном окне, изображенном на рисунке 2.37, показаны: справа - цвет кривой на графике, слева – значение температуры.

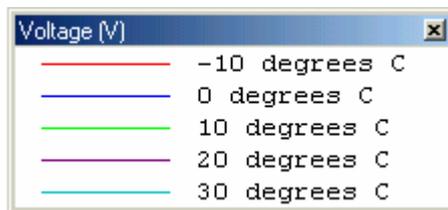


Рисунок 2.37 Таблица легенд графиков

2.8 Измеритель частотных характеристик (Bode Plotter)

Измеритель предназначен для анализа амплитудно-частотных и частотно-фазовых характеристик.

В среде EWB он имеет обозначение .

На рисунке 2.38 показан фрагмент окна программы EWB с панелью контрольно-измерительных приборов. Общий порядок работы с приборами такой: иконка прибора переносится на рабочее поле и подключается проводниками к исследуемой схеме. Для приведения прибора в рабочее (развернутое) состояние необходимо дважды щелкнуть курсором по его иконке.

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. К входу устройства необходимо подключить функциональный генератор или другой источник переменного напряжения, при этом каких-либо настроек в этих устройствах не требуется.

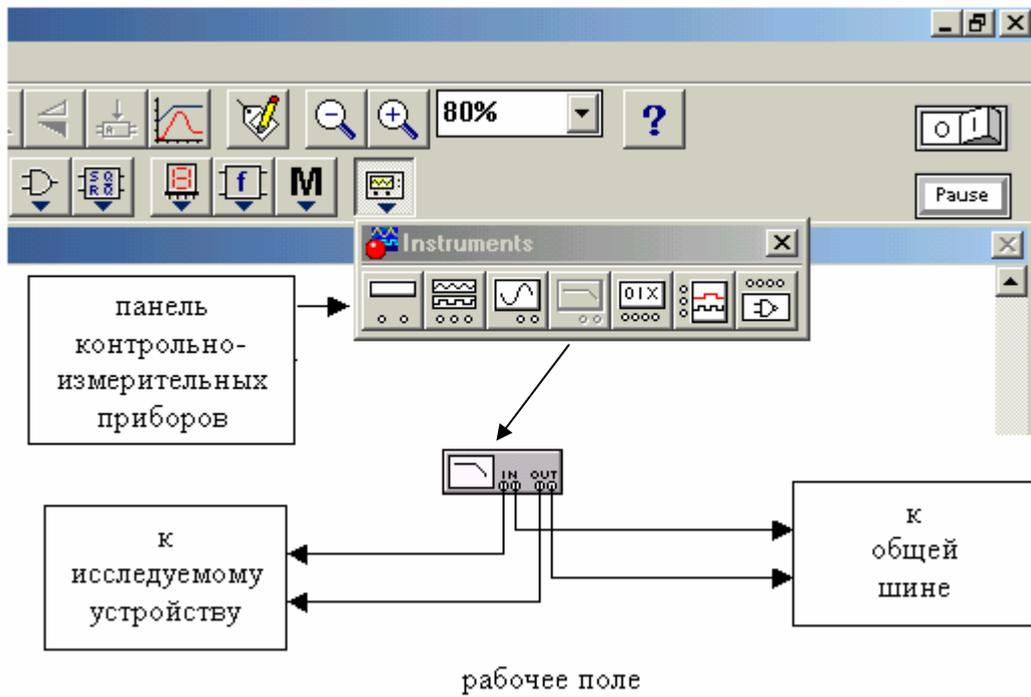


Рисунок 2.38 Фрагмент окна программы EWB с панелью контрольно-измерительных приборов

На рисунке 2.39 показана лицевая панель измерителя АЧХ-ФЧХ, на ней изображена амплитудно-частотная характеристика (при нажатой кнопке MAGNITUDE, включена по умолчанию) ФВЧ на ОУ, изображенного на рисунке 2.24.

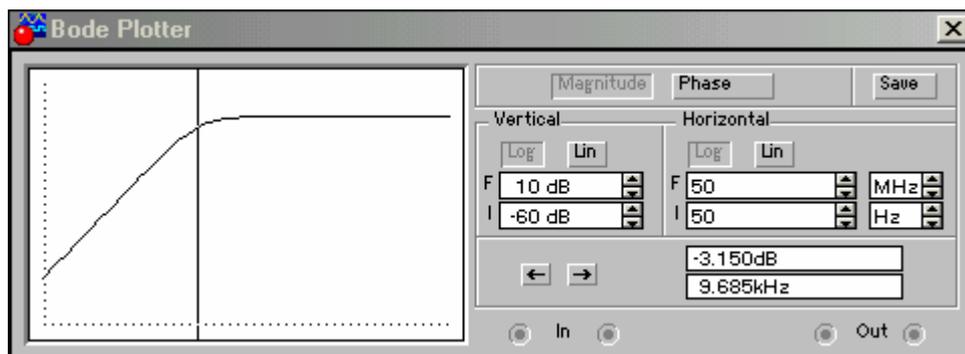


Рисунок 2.39 АЧХ ФВЧ

На рисунке 2.40 показана лицевая панель измерителя АЧХ-ФЧХ, на ней изображена частотно-фазовая характеристика (при нажатой кнопке PHASE) ФВЧ на ОУ(рисунок 2.24).

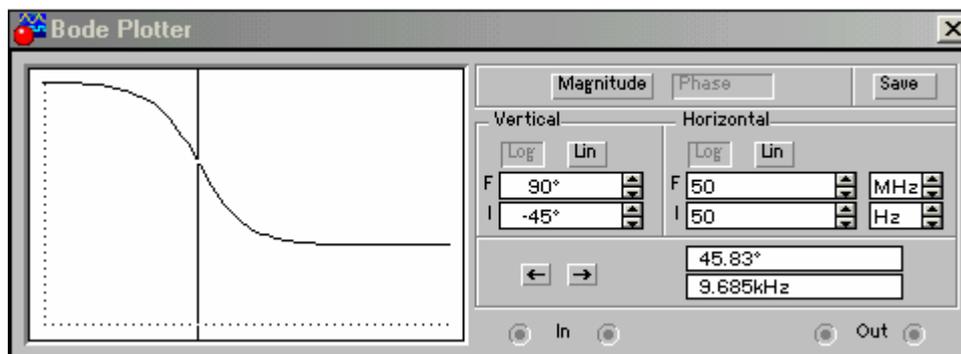


Рисунок 2.40 . ФЧХ ФВЧ

Кнопка LOG (включена по умолчанию) позволяет устанавливать логарифмическую шкалу, кнопка LIN – линейную, 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 значения. Значение частоты и соответствующей ей значение коэффициента передачи или фазы индицируются в окошках в правом нижнем углу измерителя. Значения указанных величин в отдельных точках АЧХ или ФЧХ можно получить с помощью вертикальной визирной линейки, находящейся в исходном состоянии в начале координат и перемещаемой по графику мышью или кнопками ← и → . Результаты измерения можно записать также в текстовый файл. Для этого необходимо нажать кнопку SAVE и в диалоговом окне указать имя файла, в файле с расширением .nod АЧХ и ФЧХ представляются в табличном виде.

3. Возможности системы моделирования Micro-Cap

Micro-Cap-это электронная лаборатория на IBM PC, позволяющая проводить исследования в реальном масштабе времени как аналоговых, так и цифровых электронных устройств.

Первая версия Micro-Cap I была выпущена фирмой Spectrum Software осенью 1981 г. В настоящее время разработана седьмая версия этой популярной программы.

Система позволяет вести расчеты и исследования на постоянном (**DC Analysis**), на переменном токе (**AC Analysis**), переходных процессов (**Transient**), чувствительности (**Sensitivity**). Кроме того, она способна учитывать влияние статистических разбросов параметров компонентов (**Monte Carlo**), шумов (**Noise**), проводить анализ Фурье (**Fourier**), рассчитывать передаточную функцию устройства (**Transfer Function**), входное и выходное сопротивление, оценивать влияние температуры.

Система имеет удобные средства для исследования результатов моделирования, полученных в графическом виде (поиск экстремумов, точек перегиба).

Целесообразно остановиться на некоторых важных понятиях, которые потребуются при работе с данной системой моделирования.

Термин «расчет по постоянному току» (**DC Analysis**): в исследуемой цепи учитывает только источники постоянного тока и напряжения. При расчетах по постоянному току конденсаторы автоматически исключаются из исследуемой схемы, а катушки индуктивности закорачиваются. Легче всего представить сферу использования этого метода на примере расчета цепи, состоящей из резисторов и источников постоянного напряжения.

При анализе частотных характеристик (**AC Analysis**) исследуется устройство в режиме малых сигналов, в котором влиянием нелинейных элементов пренебрегают, заменяя их линейными. В этом режиме исследуются частотные характеристики моделируемого устройства (например, определяется, как изменяется затухание фильтра с изменением частоты входного сигнала).

Анализ переходных процессов (**Transient**) позволяет рассмотреть процессы, протекающие во времени (например, как возникают колебания в автогенераторе).

Анализ чувствительности позволяет оценить влияние выбранного радиоэлемента (изменение его параметров, номиналов) на указанный пользователем выходной сигнал. Этот вид анализа помогает выявить «слабые»

места в схеме, которые недопустимо влияют на выходной сигнал исследуемого устройства.

При моделировании методом Монте-Карло происходит изменение номиналов радиоэлементов по случайному закону. Делается большое число запусков программы (несколько сотен) при различных номиналах радиоэлементов и строится статистический график — гистограмма.

С помощью анализа методом Монте-Карло находят минимальное, максимальное и среднее значения выходного сигнала, определяют дисперсию (разброс) сигналов. В частности, такой анализ важен перед началом серийного производства проектируемого устройства.

3.1 Руководство пользователя Micro-Cap

Пользовательский интерфейс системы Micro-Cap.

В системе выделяют два типа окон: Окно Схем и Окно Графиков (рисунок 3.1).

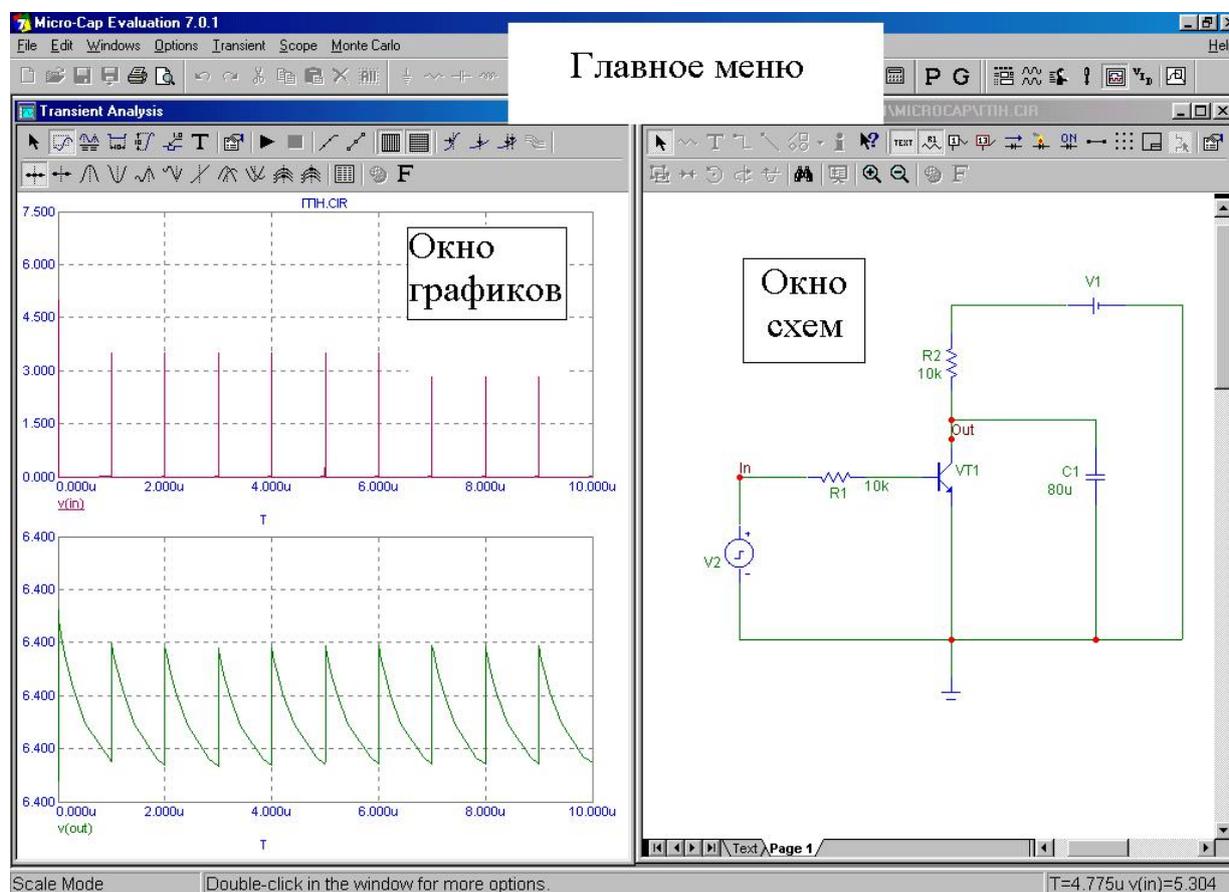


Рисунок 3.1 Вид окна Micro-Cap

У каждого типа окна имеется свой набор инструментов (командных кнопок).

Главное меню содержит следующие пункты: **File** (Файл), **Edit** (Правка), **Component** (Компоненты), **Windows** (Окна), **Options** (Опции), **Analysis** (Виды анализа), **Design** (Дизайн), **Help** (Помощь).

Состав команд в пунктах **File**, **Edit** и **Help** практически стандартен для всех программ, работающих под управлением операционной системы Windows.

Пункт меню **Component** предназначен для выбора аналоговых и цифровых радиоэлементов, источников питания и источников сигналов. Именно в пункте **Component** находится «склад» доступных деталей, из которых на рабочем столе проектируются модели электронных объектов (схемы).

Пункт меню **Windows** используется для выбора способа взаимного расположения нескольких окон, расщепления окон по горизонтали или вертикали и т. д.

С помощью команд пункта **Options** можно поставить (или убрать) Панель инструментов, Строку состояния, определить предпочтения и глобальные установки, включить координатную сетку, превратить курсор в перекрестие (это облегчает точную установку компонента на рабочий стол).

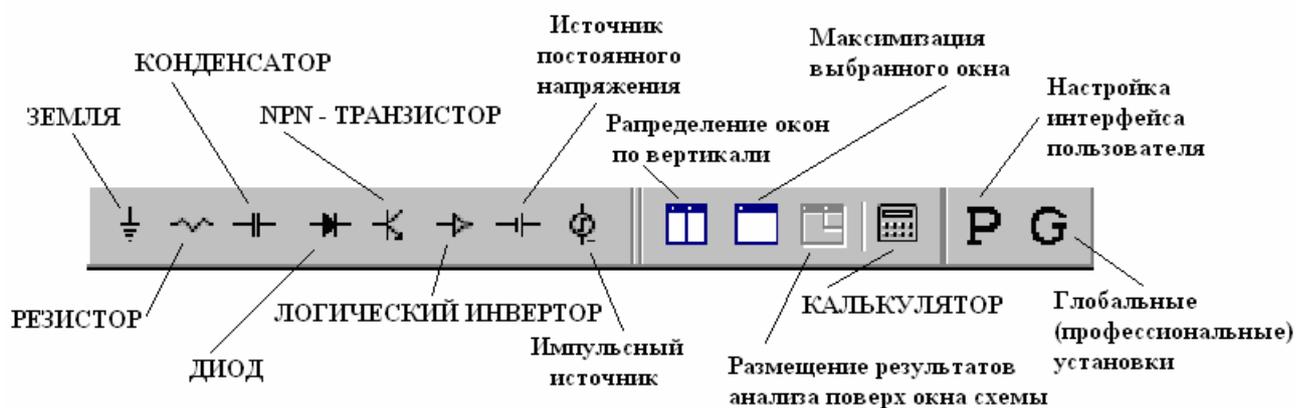
Пункт **Analysis** предназначен для выбора вида проводимого анализа (по постоянному току — DC, по переменному току — AC, исследование переходных процессов — **Transient**, передаточной функции — **Transfer Function**, чувствительности — **Sensitivity**).

С помощью пункта **Design** проектируют пассивные и активные фильтры.

Ниже Главного меню располагается Панель инструментов.

Первые десять кнопок Панели инструментов стандартны для операционной системы **Windows**, назначение их известно, поэтому нет смысла рассматривать их назначение.

Далее располагаются специфические командные кнопки.



Первые восемь кнопок имеют специальное название — Меню компонентов. Слева направо размещены кнопки: **Ground** (Корпус, Земля), **Resistor** (Резистор), **Capacitor** (Конденсатор), **Diod** (Диод), **NPN** (Биполярный транзистор), **Battery** (Батарейка), **Pulse Source** (Импульсный источник). С помощью этих кнопок производится установка на рабочий стол наиболее часто используемых радиоэлементов (компонентов).

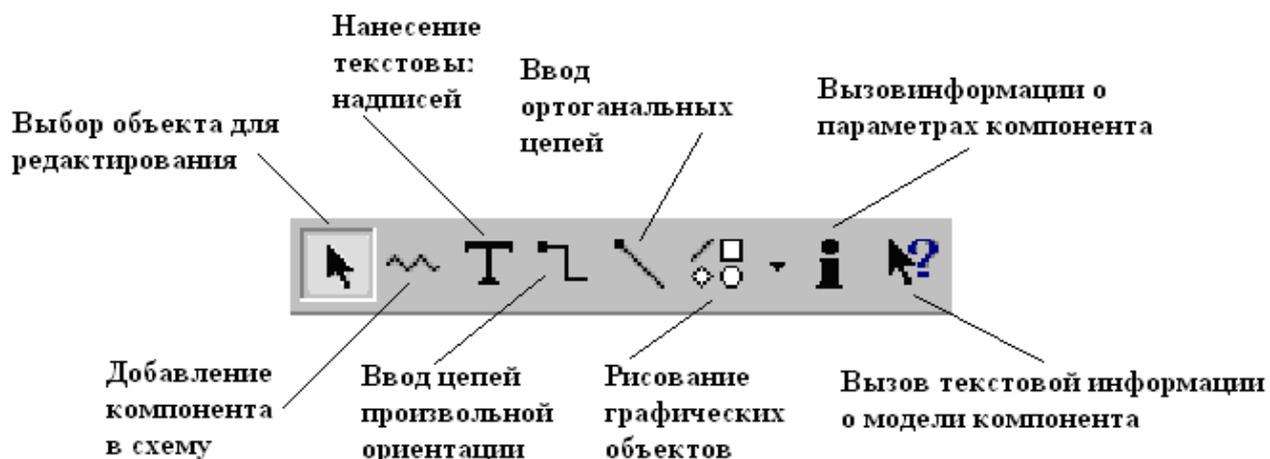
Еще одна группа кнопок предназначена для управления внешним видом пользовательского интерфейса: **Tile Vertical** (Вертикальное расположение окон), **Maximize** (Максимальный размер окна), **Overlap** (Наложение окон). Назначение кнопки **Calculator** (Калькулятор) не требует пояснений.

Кнопка **P** (Preference — Предпочтения) предназначена для настройки пользовательского интерфейса (установка и удаление командных кнопок, выбор шрифта, цвета и т. д.).

Кнопка **G** (Global Settings — Глобальные установки) используется профессионально подготовленными пользователями. Она предназначена для выбора методов интегрирования, установки точности расчетов, ограничения максимального времени, отводимого процессору для проведения моделирования, задания максимального числа итераций (повторных вычислений), уточнения параметров полупроводниковых приборов и т. д.

Вид Главного меню и состав командных кнопок, доступных в данный момент времени, зависит от того, где происходит работа: в Окне Схем или Окне Графиков.

Рассмотрим группу элементов управления работой системы, доступных в Окне Схем.



Кнопка **Select Mode** (Режим выбора) используется чаще других. В этом режиме можно выделить текст и графические объекты для их перемещения, копирования и редактирования. Двойной щелчок по элементу вызывает диалоговое окно, в котором можно изменить параметры элемента.

Правее расположена кнопка **Component Mode** (Режим компонентов). С ее помощью можно выбрать радиоэлементы, указанные в Меню компонентов, и установить их на рабочий стол. Режим имеет полезную особенность:

при нажатой левой кнопке мыши одновременное нажатие правой кнопки приводит к вращению устанавливаемого радиоэлемента.

Кнопка **Text Mode** (Текстовый режим) предназначена для составления комментариев, которые размещаются на изображении схемы.

Соединение радиоэлементов, помещенных на рабочий стол, начинается с нажатия кнопок **Wire Mode** (Ортогональные проводники) или **Diagonal Wire Mode** (Диагональные проводники). Режим **Wire Mode** позволяет проводить проводники только горизонтально и вертикально. В режиме **Diagonal Wire Mode** провода прокладываются под любым наклоном. Соединение подготовленных компонентов осуществляется по технологии **Drag and Drop** (нужно нажать левую кнопку мыши на выводе одного элемента, не отпуская кнопки, перейти к другому элементу и отпустить кнопку).

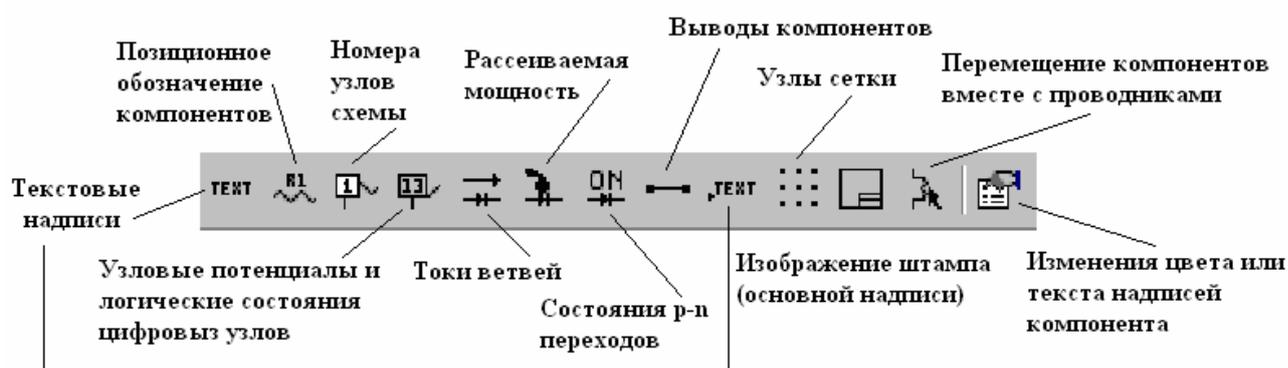
Кнопка **Graphics** (Графика) помогает выбрать в списке форм и нанести на схему прямоугольник, эллипс, ромб, линию, дугу, сегмент, многоугольник.

Когда исследуемая схема велика и быстрое отыскание искомого места становится затруднительным, может помочь режим **Flag Mode** (Режим флагов). Ввод имени флага (это обычная метка) осуществляется в диалоговом окне, которое вызывается при щелчке левой кнопкой мыши. Переход к заранее подготовленным меткам происходит с помощью небольшого значка флагов, расположенного в правом нижнем углу рабочего стола. При щелчке по этому значку появляется список существующих флагов.

Кнопка **Info Mode** (Режим информации) позволяет увидеть описание, модели, представленное в текстовом виде, и при необходимости сделать изменения в программе, написанной на внутреннем языке системы PSpice.

Режим **Help Mode** (Помощь) вызывает информацию по выбранному компоненту.

Рассмотрим еще одну группу кнопок. Первые 11 кнопок этой группы относятся к Меню просмотра.



Нажатие на кнопки **Grid Text** и **Attribute Text** делают невидимыми (или видимыми) соответственно текстовые комментарии, позиционные обозначения и номиналы радиоэлементов.

Действие кнопок **Node Numbers** (Номера узлов), **Node Voltages** (Напряжения в узлах), **Currents** (Токи) иллюстрирует рисунок 3.

Предположим, что имеется простейшая схема, показанная на рисунке 3а.

Нажатие кнопки **Node Numbers** вызовет появление на схеме номеров узлов. Этот момент зафиксирован на рисунке 3б. В данном случае узлов четыре (корпус является нулевым узлом и на схеме не маркируется).

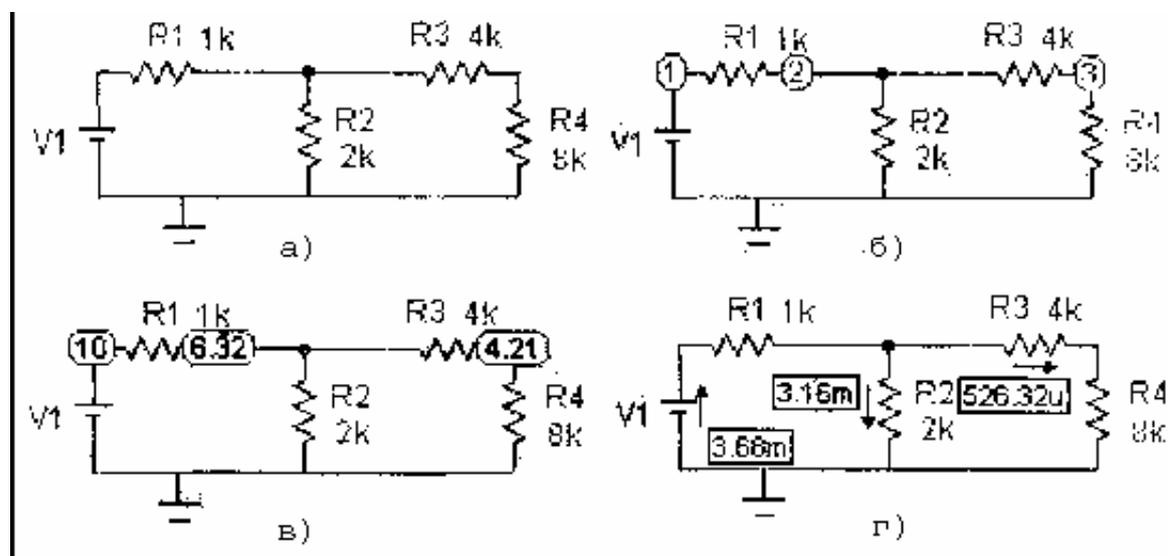


Рисунок 2 Пример использования кнопок Node Numbers (Номера узлов), Node Voltages (Напряжения в узлах), Currents (Токи)

После проведения моделирования (режим **Analysis DC**) щелчок по кнопке **Node Voltages** вызовет появление напряжений в узлах (рисунк 3.2). Использование кнопки **Currents** приведет к появлению на схеме токов, протекающих по ветвям. Токи показаны на рисунке 3.2.г. Продемонстрировать значения мощности, рассеиваемой в каждом компоненте, позволяет кнопка **Power** (Мощность).

Анализировать работу схем, в том числе построенных на цифровых устройствах, удобно при нажатой кнопке **Conditions** (Условия). В этом режиме система показывает, какие устройства находятся в линейном режиме, включенном или выключенном состоянии.

Кнопка **Pin Connections** (Выводы компонентов) показывает точками места электрических соединений элементов и проводников.

Кнопка **Command Text** (Команды) способна убирать из схемы (или, наоборот, возвращать на место) команды, записанные в текстовом виде.

Процесс размещения компонентов на рабочем столе облегчается при наличии сетки, которая включается с помощью кнопки **Grid** (Сетка).

Процесс оформления документации несколько упрощается за счет автоматизированного изображения рамок и штампов. Кнопка **Title Box** (Блок оголовка) рисует угловой штамп, содержащий пять полей. Эти поля могут быть предварительно заполнены с помощью формы, которая вызывается кнопкой **Properties** (Реквизиты).

Значительно комфортнее стали чувствовать себя пользователи благодаря кнопке **Rubberbanding** (Резиновые соединения). В этом режиме можно «схватить» элемент на готовой схеме и сдвинуть его в нужную сторону. При этом связи сохраняются, а провода растягиваются, как «резиновые нити».

Рассмотрим последнюю группу кнопок, размещенных на Панели инструментов в Окне Схем.



Рисунок 3.3

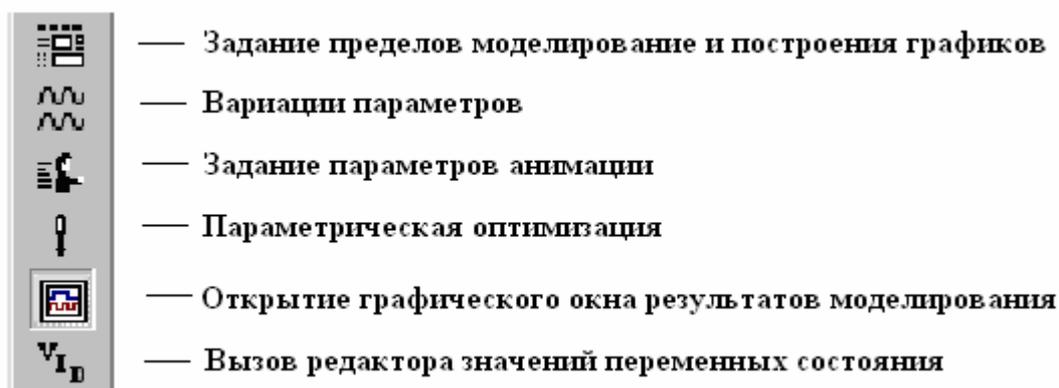
Первой слева располагается кнопка **Step Box** (Копия). Она помогает копировать фрагменты схемы, причем число создаваемых копий указывается в диалоговом окне. Кнопка **Mirror** (Зеркало) используется для зеркального копирования элемента. Направление отражения может быть выбрано относительно горизонтали или вертикали. Кнопка **Rotate** (Вращение) позволяет повернуть выделенный компонент на 90° против движения часовой стрелки. Кнопка **Flip Y** (Поворот вокруг оси Y) поворачивает выделенный элемент вокруг вертикальной оси. Аналогично кнопка **Flip X** (Поворот вокруг оси X) поворачивает выделенный элемент вокруг горизонтальной оси.

Поиск нужного места на схеме облегчен, благодаря кнопке **Find** (Поиск). В диалоговом окне можно указать атрибуты разыскиваемых элементов.

Назначение кнопок **Zoom In** (Увеличить масштаб), **Zoom Out** (Уменьшить масштаб), **Color** (Цвет) и **Font** (Шрифт) понятно из их названий.

Обычно с левой стороны Рабочего стола располагаются пять кнопок Меню анализа. Эти кнопки доступны только из Окна Графиков.

Кнопка **Limits** (Пределы) вызывает диалоговые окна, в которых можно изменить пределы изменения переменных.



Кнопка **Stepping** позволяет задать пределы изменения переменных, (например, параметров транзистора или номиналы компонентов) и наблюдать семейство кривых. Режим доступен для **AC Analysis**, **DC Analysis** и **Transient**. Этот режим несовместим с исследованиями методом Монте-Карло.

Кнопкой **Animate** устанавливается интервал времени между двумя вычислениями. Это позволяет спокойно рассмотреть появляющийся график, а также следить за изменением токов и напряжений на схеме. В диалоговом окне можно выбрать три режима:

Don't Wait (Не ждать) — наибольшее быстрое действие; **Wait for Key Press** (Ждать нажатия клавиши); **Wait for Time Delay** (Задержка на заданное время).

Analysis (Анализ) — графическая демонстрация результатов моделирования.

Кнопка **State Variables (VID)** дает доступ к редактору состояния переменных, которые рассчитываются в режиме **DC**. Переменные, полученные в результате использования **DC Analysis** перед выполнением частотного анализа (**AC Analysis**) или **Transient**, могут редактироваться по усмотрению пользователя.

Рассмотрим элементы пользовательского интерфейса, которые доступны при работе в Окне Графики. Некоторые командные кнопки одинаковы с кнопками, доступными из Окна Схем. Мы не будем их повторно объяснять.



Слева направо расположены кнопки **Select Mode, Graphics**.

Кнопка **Scale Mode** (Масштаб, Лупа) обеспечивает детальное рассмотрение любого фрагмента Графика в большом масштабе.

Кнопка **Cursor Mode** (Режим двух курсоров) активизирует сразу два курсора, которые управляются левой и правой кнопками мыши. Перемещать по графику метки можно с помощью курсорных клавиш (правая метка управляется при нажатой клавише *Shift*). При этом автоматически индицируются координаты, приращения по оси ординат и абсцисс, а также крутизна (наклон, производная) исследуемой зависимости.

Horizontal Tag Mode (Режим горизонтальных меток) позволяет определить приращение абсциссы между двумя выделенными точками. **Vertical Tag Mode** (Режим вертикальных меток) предназначен для определения приращения ординаты между двумя выделенными с помощью мыши точками.

Tag Mode (Режим меток) позволяет щелчком левой кнопки мыши вынести значение координат (**X, Y**). При этом выбирается ближайшая точка, полученная в процессе расчета, а не при аппроксимации графика.

Далее расположены кнопки **Text Mode** и **Properties**.

Кнопки **Run** (Запуск), **Stop** (Остановка), **Pause** (Пауза) позволяют управлять процессом моделирования в момент просмотра графиков.

Кнопка **Data Points** (Точки) выводит на график маркеры в тех местах, где выполнялся расчет при моделировании (остальные значения графика получаются путем интерполяции, т. е. восстановления пропущенных данных).

Кнопка **Tokens** (Маркеры) предназначена для создания меток на графиках. Это позволяет отличать кривые друг от друга при черно-белой печати.

Кнопки **Horizontal Axis** и **Vertical Axis** могут управлять индикацией горизонтальных и вертикальных линий координатной сетки.

Удобны кнопки **Go To X** и **Go To Y**, которые позволяют мгновенно переместиться к точкам, для которых пользователь в диалоговом окне указал абсциссу или ординату.

Еще большими возможностями обладает режим просмотра графиков, запускаемый нажатием командной кнопки **Go To Performance** (Переход по свойствам). С ее помощью можно определить период (частоту) колебаний, указать интервал графика по оси **X**, на котором следует производить измерения. Можно находить наклон кривой (**Slope**) в точке с заданной абсциссой, максимумы, минимумы, время изменения напряжения между двумя заданными значениями (**Rise Time** и **Fall Time** — время нарастания и спада). Есть возможность определять приращение функции при заданных значениях аргумента (**Y Delta**), расстояние по горизонтали между двумя точками с одинаковыми значениями ординаты (**Width**). Можно определить абсциссу (или ординату) глобального максимума (**High X** и **High Y**) и т. д.

Выбор нужных режимов измерений делается в поле **Function**. Например, чтобы определить локальный максимум при значении времени более 100 мкс, необходимо в поле **Boolean** записать: $T > 100$ и.

Перейдем к группе кнопок, расположенных во втором ряду Окна Графиков.

Кнопка **Next Data Point** (Очередная точка) обеспечивает последовательное плавное перемещение по графику. Для передвижений целесообразно использовать курсорные клавиши «Влево» и «Вправо».

Поиск максимума происходит при нажатии на кнопку **Peak** (Локальный максимум). Если локальных максимумов несколько, то с помощью курсорных клавиш легко переходить от одного максимума к другому.

Назначение кнопки **Valley** (Локальный минимум) аналогично назначению кнопки **Peak**.

Кнопка **High** (Максимальное значение) находит точку, в которой функция имеет наибольшее значение. Аналогично кнопка **Low** (Минимальное значение) перемещает курсор в точку с наименьшим значением функции. Назначение кнопок **Global High** и **Global Low** такое же, как у рассмотренных кнопок. Отличие заключается в том, что последние кнопки позволяют искать наибольшие (и наименьшие) значения на семействе кривых.

Кнопка **Inflection** (Перегиб) используется для поиска точек перегиба, в которых вторая производная обращается в ноль (с одной стороны, от точек перегиба график выпуклый вверх, а с другой стороны, выпуклый вниз).

Кнопка **Numeric Output** (Числовой вывод) позволяет увидеть результаты расчетов в текстовом виде.

3.2 Сборка схем в среде Micro-Cap.

Предлагается проследить последовательность сборки и анализа простейшей схемы генератора пилообразного напряжения в среде Micro-Cap. При проектировании схемы большинство действий выполняется с использованием левой кнопки мыши.

Принципиальная электрическая схема генератора пилообразного напряжения представлена на рисунке 3.4.

Для сборки данной схемы необходимы следующие элементы:

- Резистор - 2шт;
- Источник постоянного напряжения - 1шт;
- Конденсатор - 1шт;
- Импульсный генератор - 1шт;
- Транзистор n-p-n — типа - 1шт;
- Заземление - 1шт.

Сборка схемы

Для создания сопротивления необходимо выбрать пункт меню **Component | Analog primitives | Passive components | Resistor** (или нажать

кнопку с изображением сопротивления в верхней части панели) и расположить компонент на рабочей области среды. После расположения компонента откроется окно свойств данного компонента, в котором необходимо задать величину сопротивления, для чего свойству **VALUE** присваивается значение **10k**, для задания обозначения компонента, свойству **PART** присваивается значение **R1** и нажимается кнопка **Ok**.

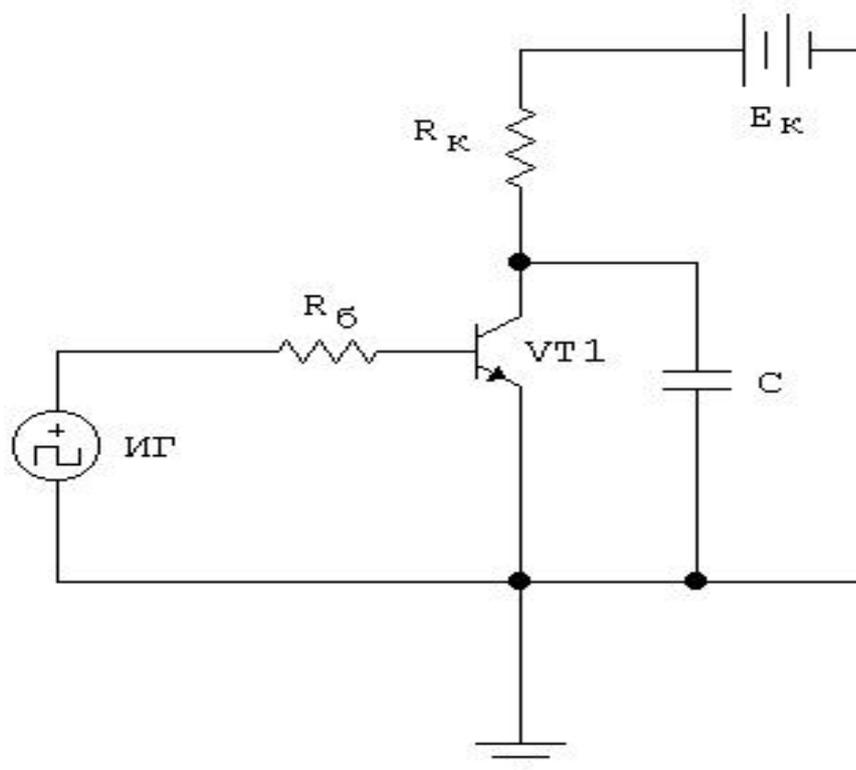


Рисунок 3.4 Принципиальная схема генератора пилообразного напряжения

Для создания второго сопротивления необходимо повторить вышеописанные действия, значение сопротивления оставь неизменным, а свойству **PART** присвоить обозначение **R₂**.

Затем выбирается пункт меню **Component | Analog primitives | Waveform Sources | Battery** (или нажимается кнопка с изображением батареи в верхней части панели) и располагается компонент на экране. Для этого компонента необходимо задать значение напряжения, т.е. свойству **VALUE** присвоить значение **6.4 V**, а свойству **PART** значение **V₁**.

Теперь выбирается пункт меню **Component | Analog primitives | Passive components | Capacitor** (или нажимается кнопка с изображением конденсатора в верхней части панели). Свойству **VALUE** этого компонента присваивается значение **80 u**, а свойству **PART** значение **C₁**.

Для создания транзистора необходимо выбрать пункт меню **Component | Analog primitives | Active devices | NPN** (или нажатием кнопки с изображением NPN транзистора в верхней части панели) и расположить компонент на экране. Для этого компонента необходимо задать значения двух параметров: **PART** и **MODEL**. Свойству **PART** присваивается значение **VT₁**, а модель транзистора **MODEL** выбирается из списка, который находится в правой части окна, в данном случае мы выбираем транзистор **2N2222**.

Далее выбирается пункт меню **Component | Analog primitives | Connectors | Ground** (или кнопка с изображением заземления в верхней части панели) и располагаем “землю” на рабочей области.

Затем необходимо задать источник импульсов, для чего выбирается пункт меню **Component | Analog primitives | Waveform Sources | Pulse Source** (или кнопка с изображением источника импульсов в верхней части панели). Свойству **PART** данного элемента присваиваем обозначение **V₂**, а свойству **MODEL** выбирается значение **IMPULSE** из списка в правой части окна.

Все элементы созданы, теперь необходимо расположить их на схеме, ориентируясь на рисунок 3.4. Вращение компонента можно выполнить нажатием на него левой кнопкой мыши и не отпуская её нажимается правая кнопка.

После этого все компоненты соединяются проводом, как показано на рисунке 3.4. Для этого нажимается кнопка с изображением провода (**Wire Mode**) или сочетание клавиш **CTRL+W**, и поочередно, согласно рисунку 3.4 соединяем компоненты в цепь.

На рисунке 3.5 представлен примерный вид схемы после совершения перечисленных действий. Проектирование выполнено.

3.3 Анализ схемы генератора пилообразного напряжения

Непосредственно перед анализом необходимо произвести несколько подготовительных операций.

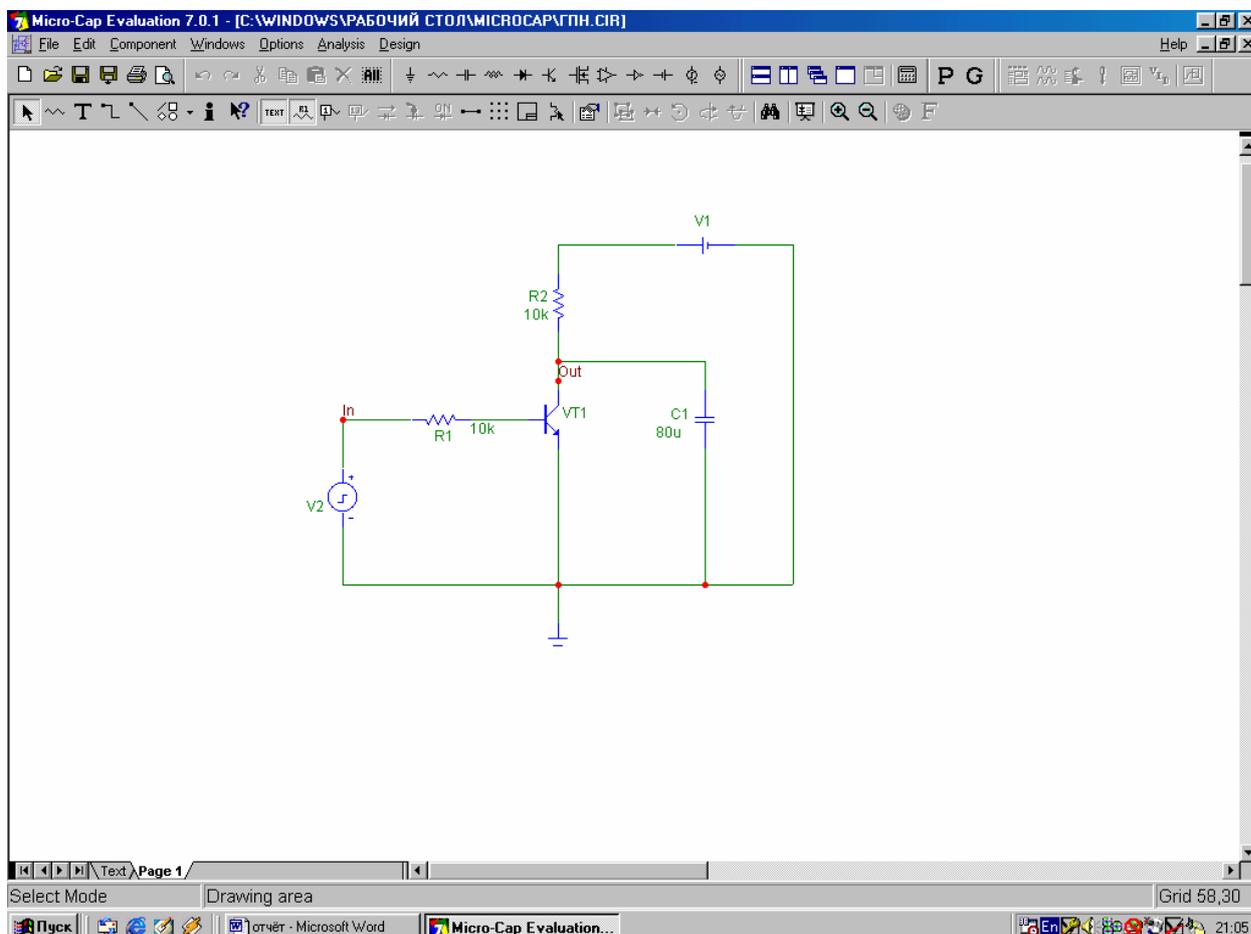


Рисунок 3.5 Примерный вид схемы

Выбирается инструмент Text Mode (или нажимается сочетание клавиш Ctrl+T), курсор примет иной вид. Нажимается курсором на положительный вывод импульсного генератора, в открывшемся окне вводится слово In, после нажатия на кнопку **Ok** на месте указанном ранее появится красная точка и метка “**In**”. Таким образом, данному месту цепи присваивается метка **In**, чтобы в дальнейшем использовать её для снятия напряжения в данной точке. Аналогичным образом необходимо создать метку **Out** на коллекторе транзистора **VT1**, чтобы снять выходное напряжение.

Теперь необходимо настроить источник импульсов, для чего открывается окно свойств и устанавливаются все значения, ориентируясь на рисунок 3.6.

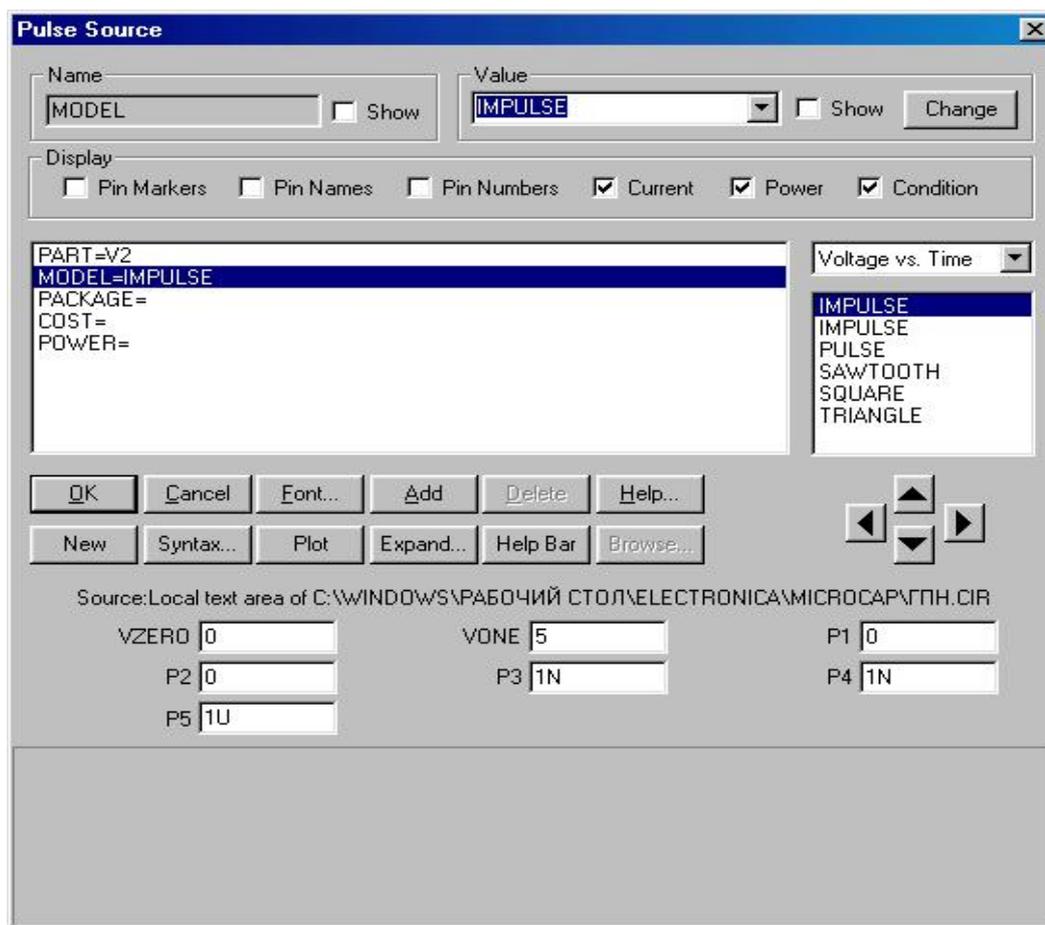


Рисунок 3.6 Окно установки свойств источника импульсов

Для выполнения основных операций анализа необходимо воспользоваться инструментом **Transient**, который вызывается пунктом меню **Analysis | Transient**, либо сочетанием клавиш **Alt+1**.

После вызова данного инструмента на экране появится окно **Transient Analysis Limits**, в котором задаются параметры снятия показаний.

Свойству **Time Range** (промежуток времени) необходимо присвоить значение **0.01m**, а свойству **Maximum Time Step** **0.001**.

Из флажков в правой части окна должен быть установлен только флажок **Operating Point**.

Нижнюю таблицу (в которой задаются анализируемые точки, значения координатных осей, интервалы наблюдения) заполните согласно рисунку 3.7.

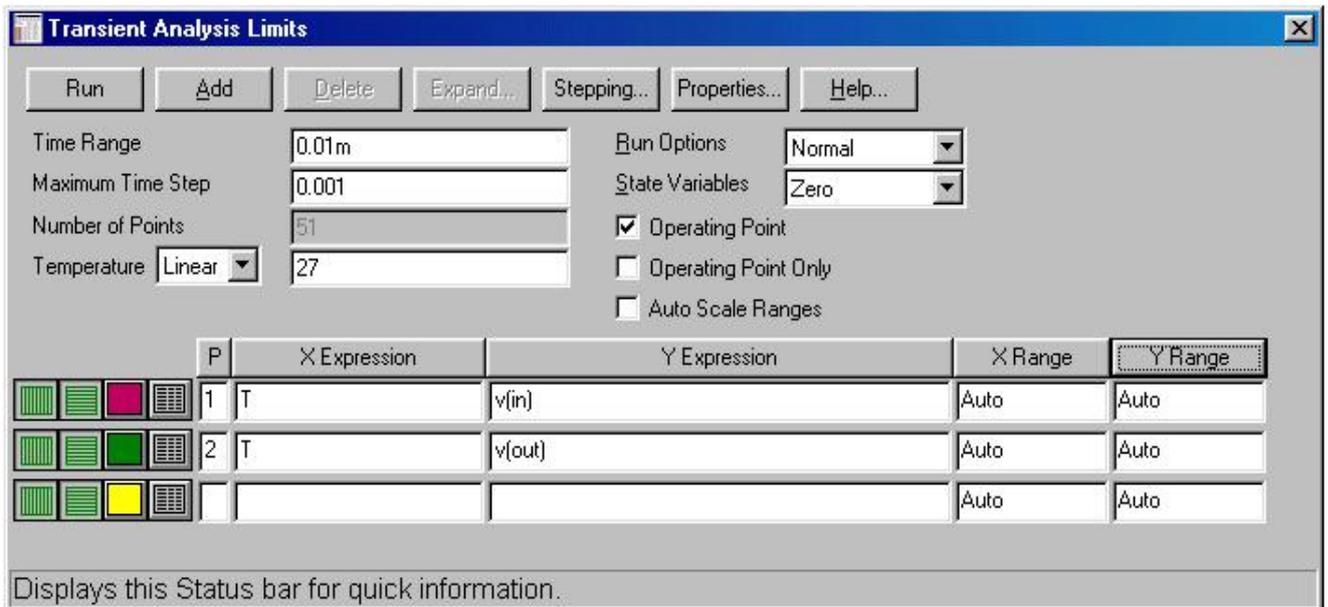


Рисунок 3.7 Окно установки свойств инструмента Transient

Далее нажимается кнопка **Ок** и на экране появляется окно, представленное на рисунке 8. В данном окне, в графическом виде, представлены значения входных и выходных напряжений в зависимости от времени.

На верхней диаграмме показываются входные импульсы, (снимаются с источника импульсов), а на нижней изображено выходное напряжение, (снимается с коллектора транзистора, так называемая “пила”). Видно, что характеристики промоделированной схемы совпадают с теоретическими.

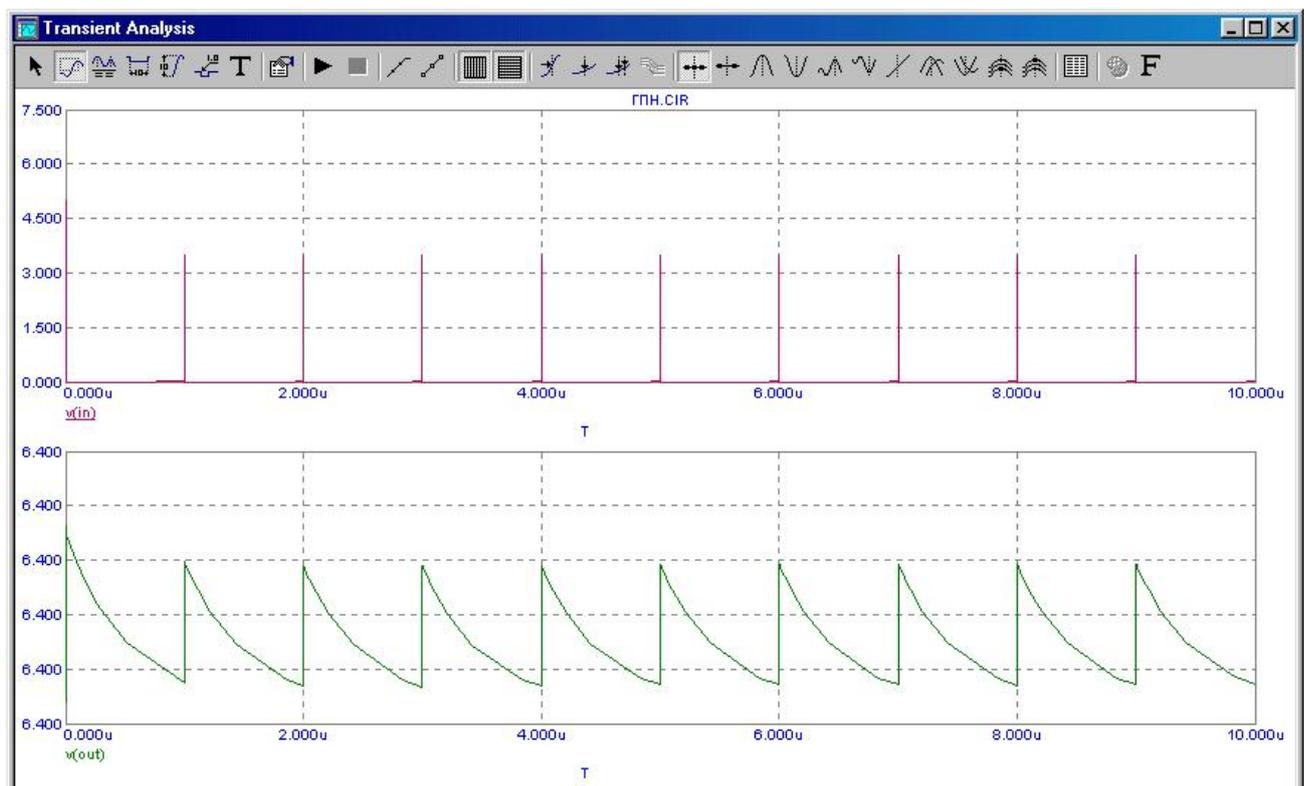


Рисунок 3.8 - Временная диаграмма для генератора пилообразных

Последовательность проведения анализа электрических схем в среде Micro Cap

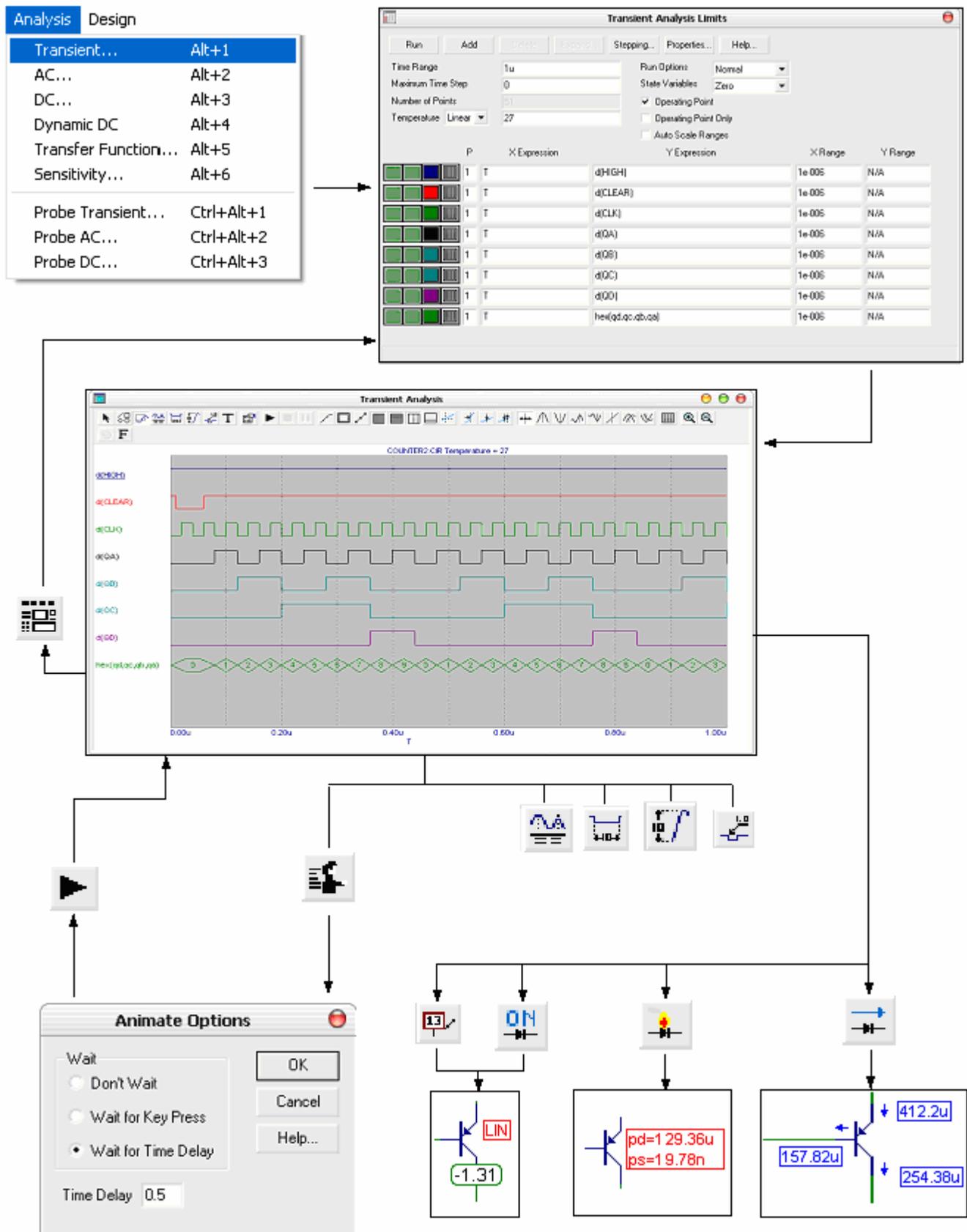
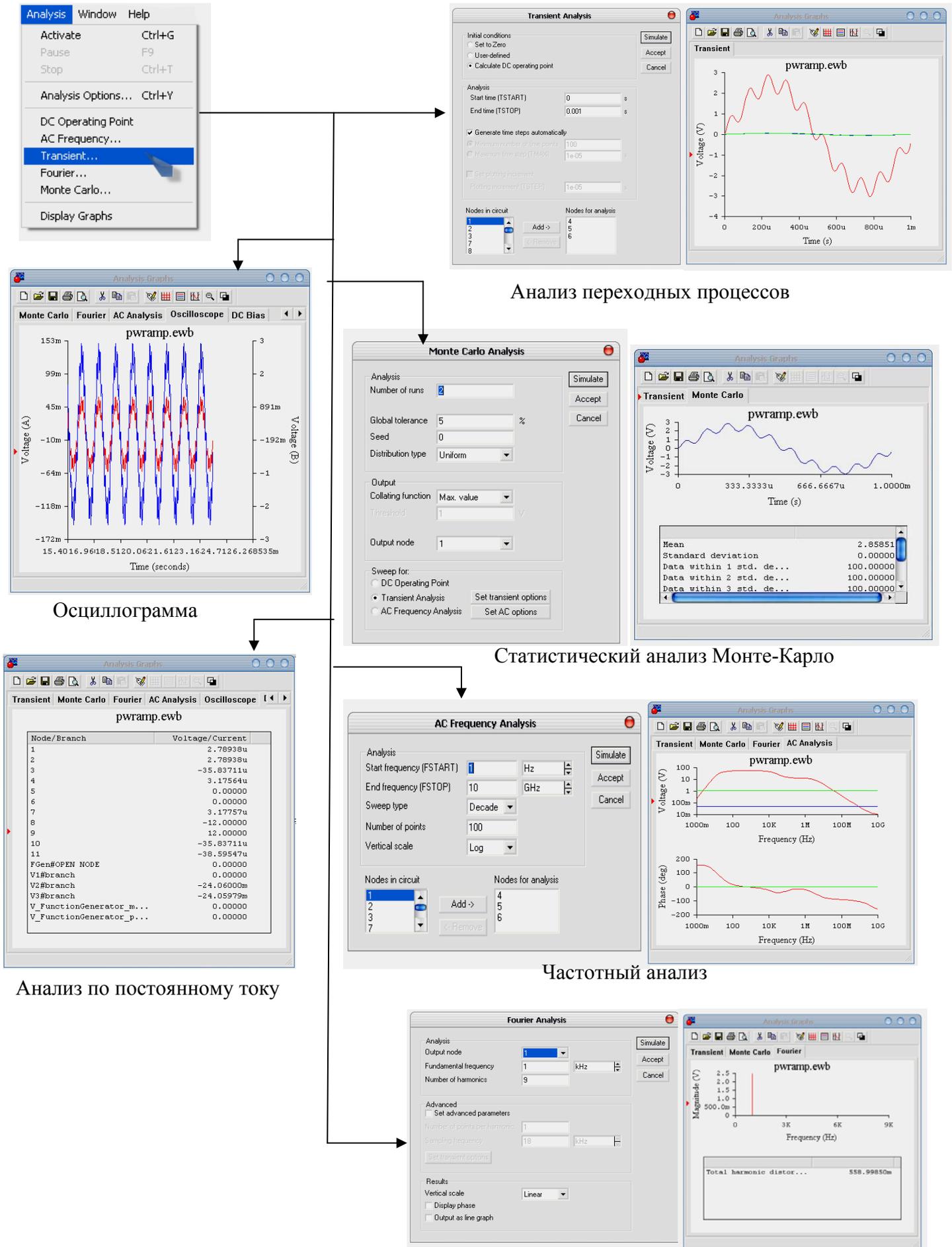


Рисунок 3.9 Последовательность анализа

Последовательность проведения анализа электрических схем в среде Electronics WorkBench



Анализ переходных процессов

Осциллограмма

Статистический анализ Монте-Карло

Частотный анализ

Анализ по постоянному току

Анализ Фурье

Рисунок 3.10 Последовательность анализа в EWB

4. Библиотека пользователя. Электронные схемы для учебного процесса по курсу «Электроника и Схемотехника».

4.1 Выпрямители вторичных источников электропитания

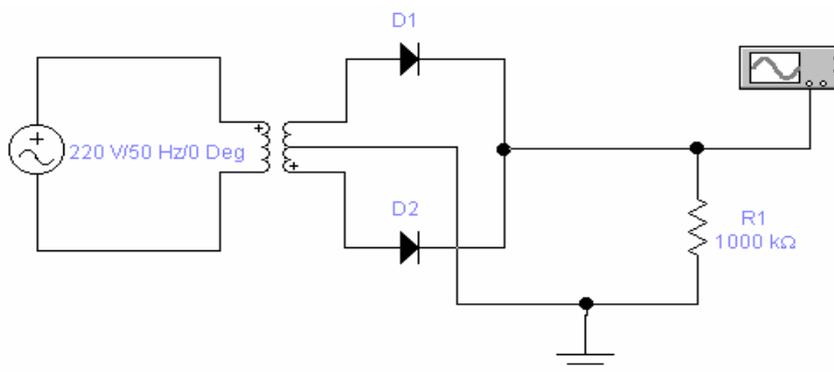


Рисунок 4.1 Двухполупериодный выпрямитель

В двухполупериодном выпрямителе входное переменное напряжение преобразуется в однополярное, но с удвоенной частотой следования по сравнению с входным напряжением.

Двухполупериодный выпрямитель, приведенный на рисунке 4.1, представляет собой параллельное соединение двух однофазных выпрямителей, питаемых от двух половин вторичной обмотки трансформатора. С помощью этих полуобмоток создаются два противофазных питающих выпрямители напряжения. В данном случае уровень постоянной составляющей на выходе выпрямителя вдвое выше, чем при однополупериодном выпрямлении тока ($0,636U$, или приблизительно $2/3$ от максимального напряжения).

Этот выпрямитель характеризуется лучшим использованием трансформатора и фильтра. Его часто называют выпрямителем со средней точкой вторичной обмотки трансформатора.

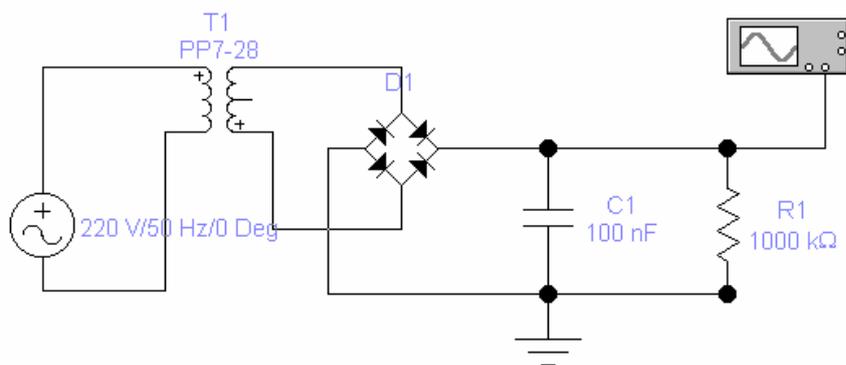


Рисунок 4.2 Однофазный мостовой выпрямитель

Однофазный мостовой выпрямитель (рисунок 4.2) является двухполупериодным выпрямителем, питаемым от однофазной сети. В отличие от предыдущей схемы его можно использовать для выпрямления напряжения сети и без трансформатора. К его недостаткам относится удвоенное число выпрямительных диодов, однако трансформатор в таком выпрямителе используется наиболее полно, так как нет подмагничивания магнитопровода постоянным током, и ток во вторичной обмотке протекает в течении обоих полупериодов. Из-за увеличенного падения напряжения на выпрямительных диодах, такие выпрямители редко используются при выпрямлении низких напряжений (меньше $\sim 5\text{В}$). Здесь: R1 – нагрузка, T1 – понижающий трансформатор, C1 – накопительный конденсатор, D1 – диодный мост, C1 используется для снижения уровня переменных составляющих выпрямленного тока, включается параллельно нагрузке R1. Этот конденсатор заряжается до максимального входного напряжения и затем разряжается через нагрузку R1, предотвращая быстрый спад напряжения. Накопительный конденсатор должен иметь значительную емкость – 100 до 5000мкФ.

4.2 Схемы электронных устройств на биполярных и полевых транзисторах

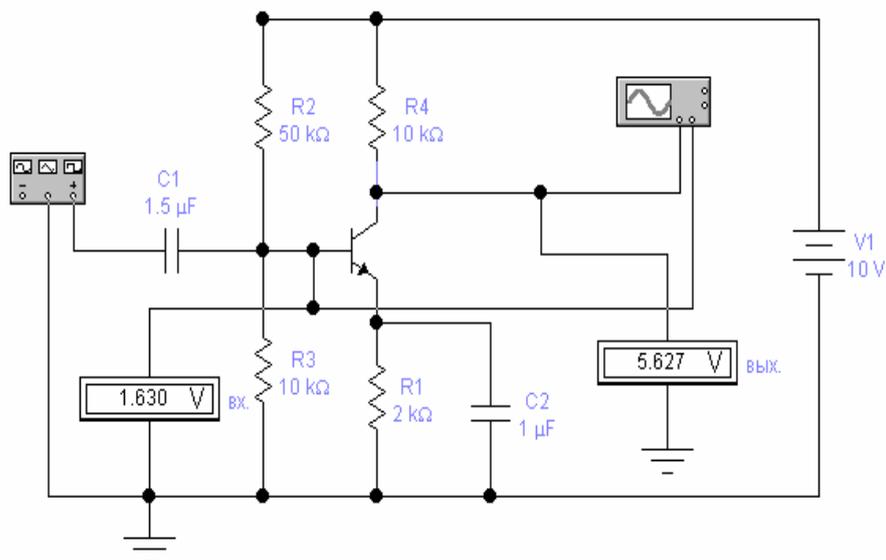


Рисунок 4.3 Усилитель с общим эмиттером на n-p-n- транзисторе

На рисунке 4.3 представлена схема простейшего усилителя, собранного на биполярном транзисторе обратной проводимости по схеме с общим эмиттером. Прежде чем использовать транзистор в качестве усилителя, на него нужно подать необходимое напряжение смещения (задать режим работы по постоянному току). Для этого используется делитель напряжения R2-R3 и источник питания постоянного тока V1. Чтобы снять выходное напряжение с коллектора, в цепь коллектора включается нагрузочный резистор R4, называемый также коллекторным резистором. С помощью эмиттерного резистора R1 вводится отрицательная обратная связь, обеспечивающая стабилизацию статического режима усилителя. C1- входной разделительный конденсатор. Для устранения отрицательной обратной связи по переменному току и одновременного сохранения стабильности по постоянному току применяется эмиттерный развязывающий конденсатор C2. Усилитель с ОЭ дает высокое усиление по напряжению, току и мощности, инвертирует фазу входного сигнала при его усилении.

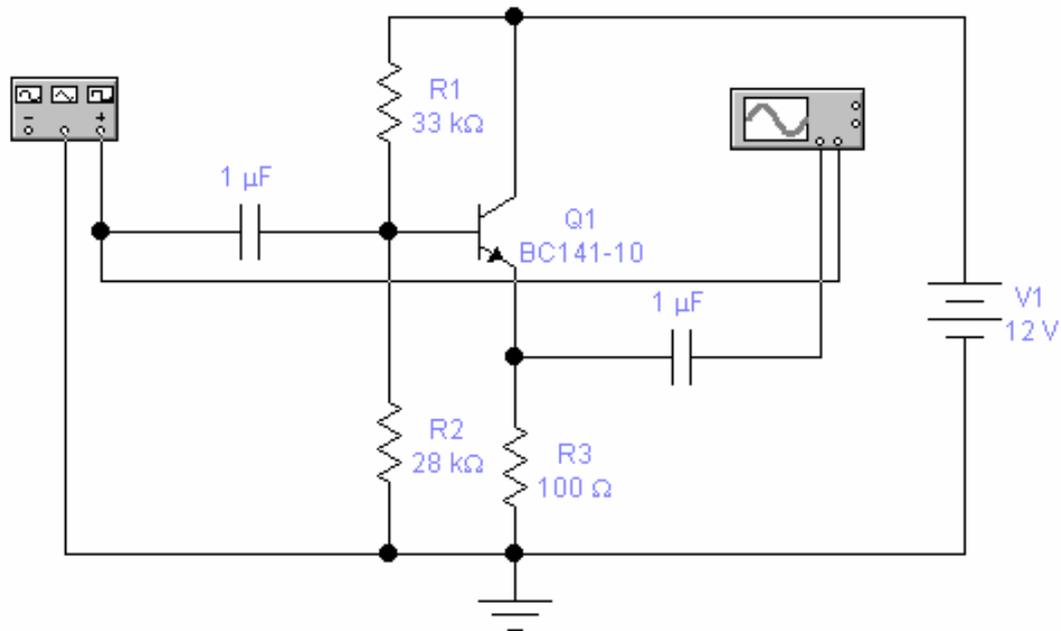


Рисунок 4.4 Эмиттерный повторитель (усилитель с ОК)

На рисунке 4.4 представлена схема простейшего усилителя, собранного на биполярном транзисторе обратной проводимости по схеме с общим коллектором (эмиттерный повторитель) Эмиттерный повторитель имеет высокий коэффициент усиления по току и меньший единицы коэффициент усиления по напряжению. Это связано с действием 100%-ной отрицательной обратной связи через резистор R3. Усилитель с ОК не изменяет фазу входного сигнала при его усилении. Здесь C1 и C2 – входной и выходной разделительные конденсаторы, резисторы R1 и R2 образуют цепь смещения по постоянному току. Коллекторный резистор отсутствует, так как выходной сигнал снимается с резистора R3

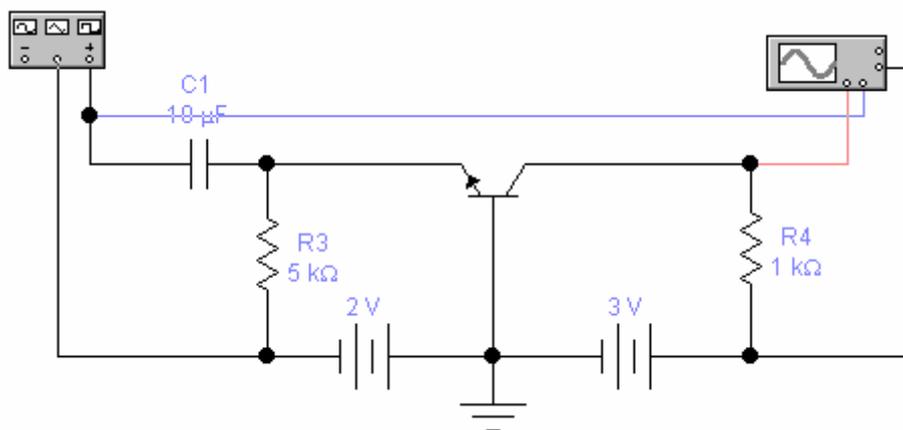


Рисунок 4.5 Усилитель с общей базой

Усилитель с ОБ (рисунок 4.5) имеет низкое входное сопротивление (50 – 100 Ом) и более низкий коэффициент усиления по мощности по сравнению с усилителем, собранным по схеме с ОЭ, так как дает усиление по напряжению и не дает усиления по току . Преимущество этого усилителя – хорошие частотные характеристики (широкая полоса пропускания). Поэтому усилители с ОБ используются при очень высоких частотах.

Разделительный конденсатор С1 обеспечивает передачу переменного входного сигнала на эмиттер транзистора (входное напряжение прикладывается между эмиттером и базой) R3 – эмиттерный резистор. Делителем напряжения R1-R2 задается режим работы усилителя. Выходной сигнал снимается с нагрузочного резистора R4.

На рисунке 4.6 представлена схема двухкаскадного усилителя с RC-связью между каскадами. Транзисторы Q1 и Q2 работают в режиме класса А, задаваемом цепями смещения R1-R9 и R2-R7 соответственно. Эти два каскада изолированы друг от друга с помощью разделительного конденсатора С5.

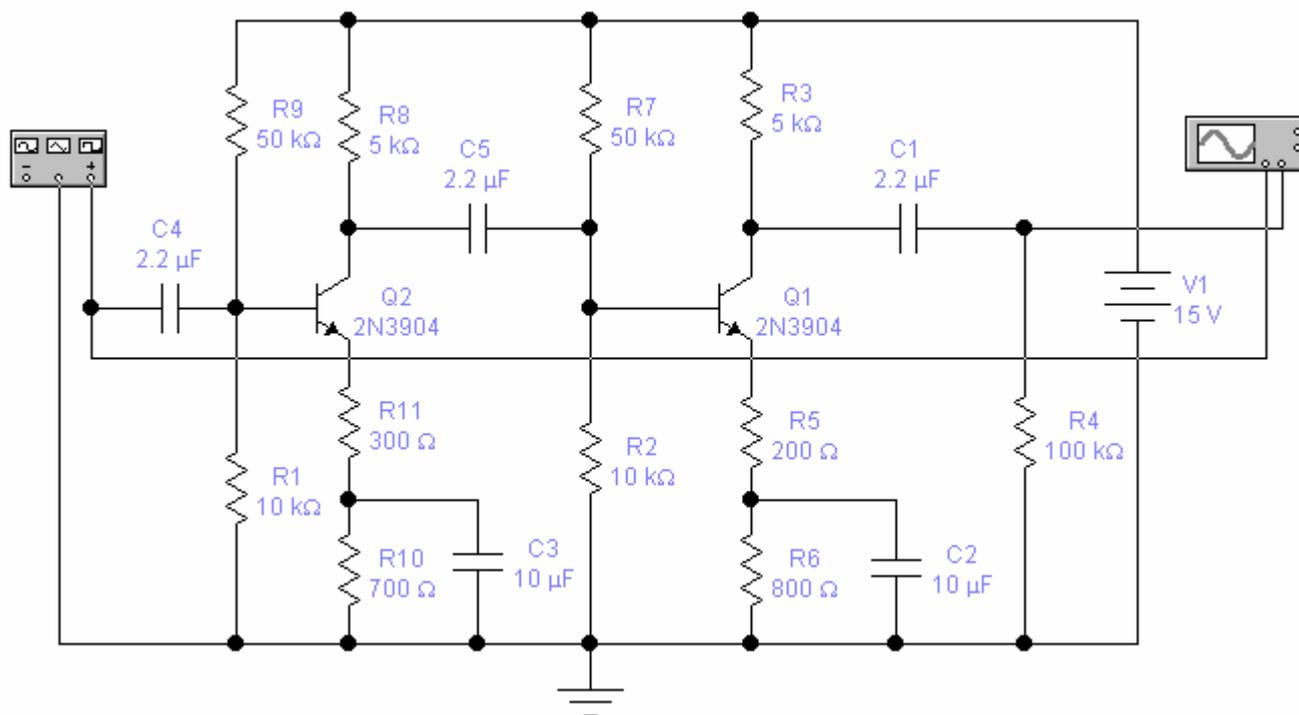


Рисунок 4.6 Двухкаскадный усилитель с RC- связью между каскадами

Общий коэффициент передачи усилителя равен (в первом приближении) совокупному коэффициенту усиления каждого каскада, умноженному на коэффициент соседнего каскада. На практике количество каскадов ограничивается тремя.

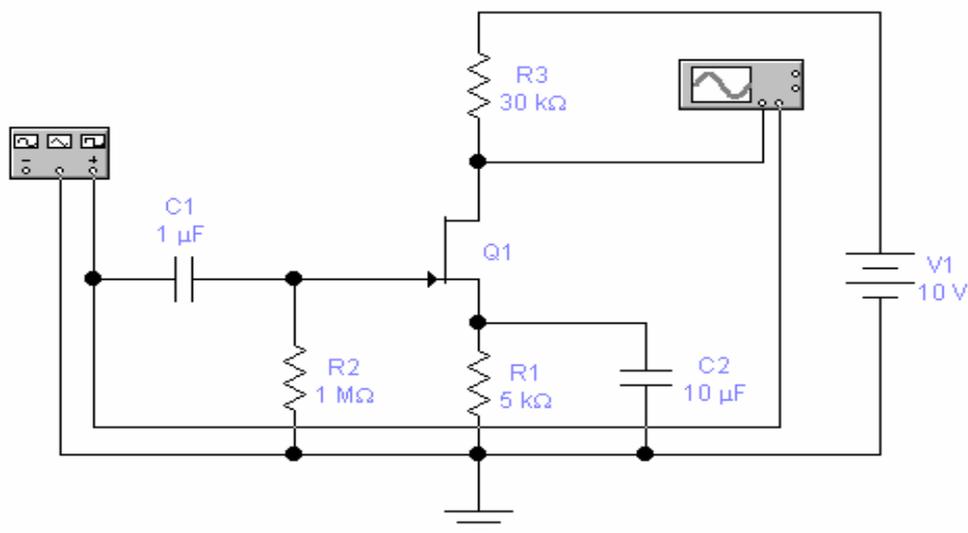


Рисунок 4.7 Усилитель на полевом транзисторе с общим истоком

На рисунке 4.7 представлена схема простейшего усилителя, собранного на полевом транзисторе по схеме с общим истоком. Она аналогично усилителю с ОЭ может обеспечить высокий коэффициент усиления по мощности, но в отличие от нее полевой транзистор имеет значительно более высокое входное сопротивление по сравнению с биполярным. Особенности схемы таковы: через резистор утечки R2 отводится на шасси очень малый ток утечки затвора. Резистор R3 обеспечивает необходимое обратное смещение, поднимая потенциал истока выше потенциала затвора. Кроме того, этот резистор обеспечивает также стабильность режима усилителя по постоянному току. R3- нагрузочный резистор, который может иметь очень большое сопротивление (более 1,5Мом) Развязывающий конденсатор C2 в цепи истока устраняет отрицательную обратную связь по переменному току через резистор R1. При подаче сигнала на вход усилителя изменяется ток стока, вызывая в свою очередь изменение выходного напряжения на стоке транзистора. Во

время положительного полупериода входного сигнала напряжение на затворе увеличивается в положительном направлении, обратное напряжение смещения перехода затвор- исток уменьшается и, следовательно, увеличивается ток Истока полевого транзистора. Увеличение Истока приводит к уменьшению выходного (стокового) напряжения, и на выходе воспроизводится отрицательный полупериод усиленного сигнала. И наоборот, отрицательному полупериоду входного сигнала соответствует положительный полу период выходного сигнала.

4.3 Схемы генераторов

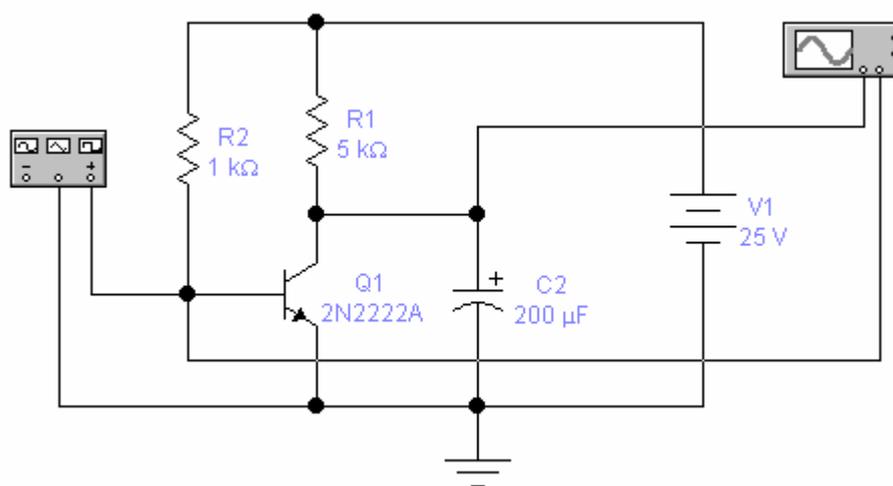


Рисунок 4.8 Генератор пилообразного напряжения

На рисунке 4.8 представлена схема генератора пилообразного напряжения. В данной схеме используется ключевой режим работы транзистора (отсечка – насыщение). В первый момент работы схемы при подаче напряжения источника питания V1, транзистор, быстро проходя активный режим, находится в насыщении. При подаче на вход схемы отрицательного импульса мы переводим генератор в режим отсечки. В этот же момент времени происходит заряд накопительного конденсатора C2 практически до напряжения источника V1. По окончании действия отрицательного импульса на входе схема переходит в свое первоначальное состояние: транзистор открывается, в этот момент происходит быстрый разряд

базе превысит напряжение на эмиттере на +0,6В. Когда это произойдет, Q1 начинает пропускать ток, потенциал его коллектора понижается и это понижение передается на базу Q2. В результате ток тр-ра Q2 уменьшается, падает потенциал эмиттеров транзисторов Q1 и Q2 и транзистор Q1 начинает пропускать еще больший ток и т.д. Таким образом, транзистор Q1 очень быстро достигает насыщения, а тр-ра Q2 – отсечки. Выходное напряжение при этом будет равно V1. Если теперь входное напряжение упадет до нуля, произойдет обратный процесс, в результате чего транзистор Q1 закроется, а транзистор Q2 придет в насыщение.

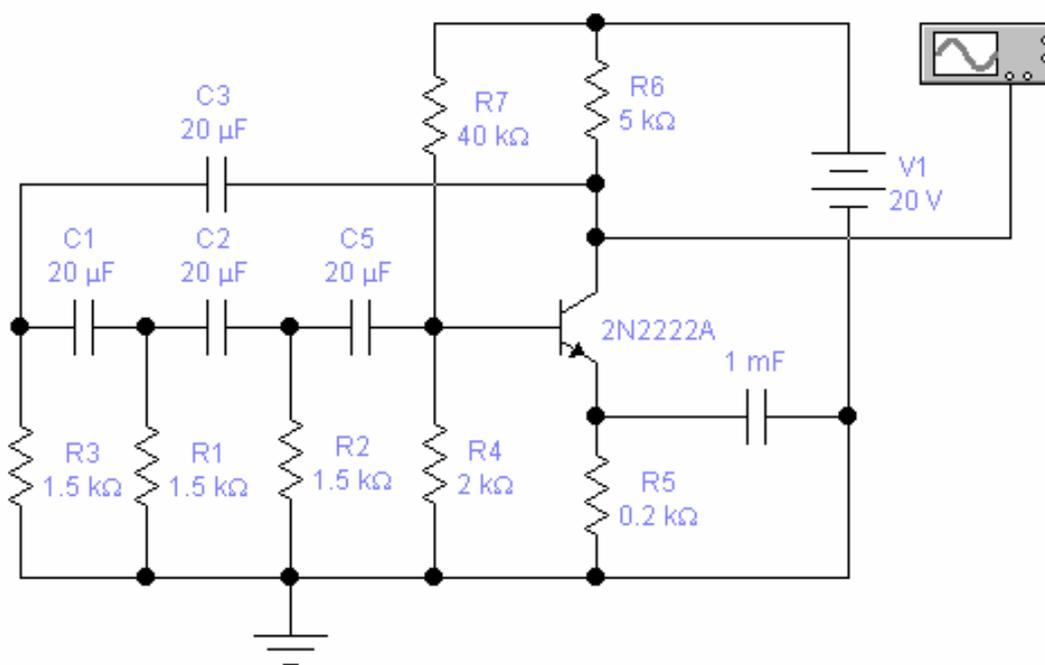


Рисунок 4.10. RC- генератор

На рисунке 4.10 представлена схема генератора RC-типа. Генератор применяется и в диапазоне звуковых частот вместо LC (индуктивность-емкость) генераторов. RC-генераторы позволяют отказаться от использования в диапазоне низких частот громоздких катушек индуктивности. Принцип положительной обратной связи используется и здесь, выходной сигнал поступает на базу транзистора по RC-цепи и определяет частоту выходного сигнала генератора. В схеме на рисунке каждая из трех идентичных цепей сдвигает фазу сигнала приблизительно на 60 градусов; результирующий сдвиг фаз составляет тогда 180 градусов.

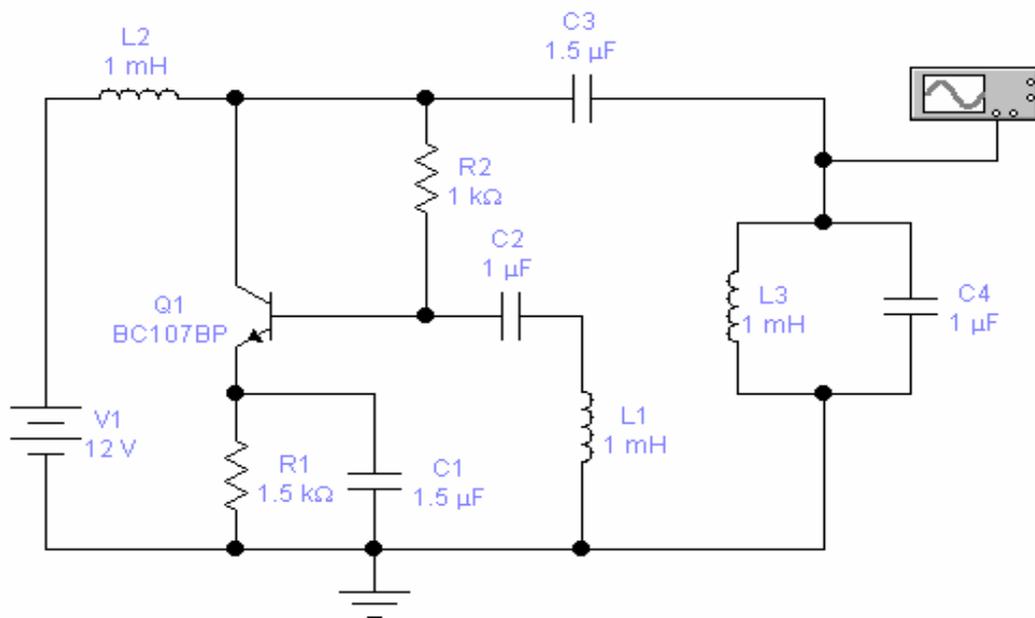


Рисунок 4.11 LC- генератор

В качестве нагрузки в этой схеме (рисунок 4.11) использован колебательный LC- контур с которого снимается переменный гармонический сигнал. В базовую цепь генератора включена катушка обратной связи, поворот фазы выходного сигнала осуществляется соответствующим включением начала и конца катушки. Элементы C1,R1,C2,R2,,L2 являются элементами усилителя с общим эмиттером. При включении источника питания, в коллекторной цепи транзистора возникает ток коллектора, который заряжает конденсатор C4 колебательного контура. После заряда он разряжается на L3, в результате в LC контуре возникают свободные колебания с частотой $f=1/(2*3.14* L3*C4)$ которые индуцируют в катушке обратной связи L1 переменное напряжение с той же частотой, что и свободные колебания в контуре. Это напряжение вызывает пульсацию тока коллектора. Переменная составляющая этого тока восполняет потери энергии в контуре, создавая в нем усиленное транзистором переменное напряжение. Повышение напряжения на контуре приводит к новому нарастанию напряжения на катушке обратной связи L1, которая в свою очередь вызовет нарастание переменной составляющей коллекторного тока и т.д. Время установившегося режима $t=2*T$; где T- время заряда конденсатора; $T=R*C$

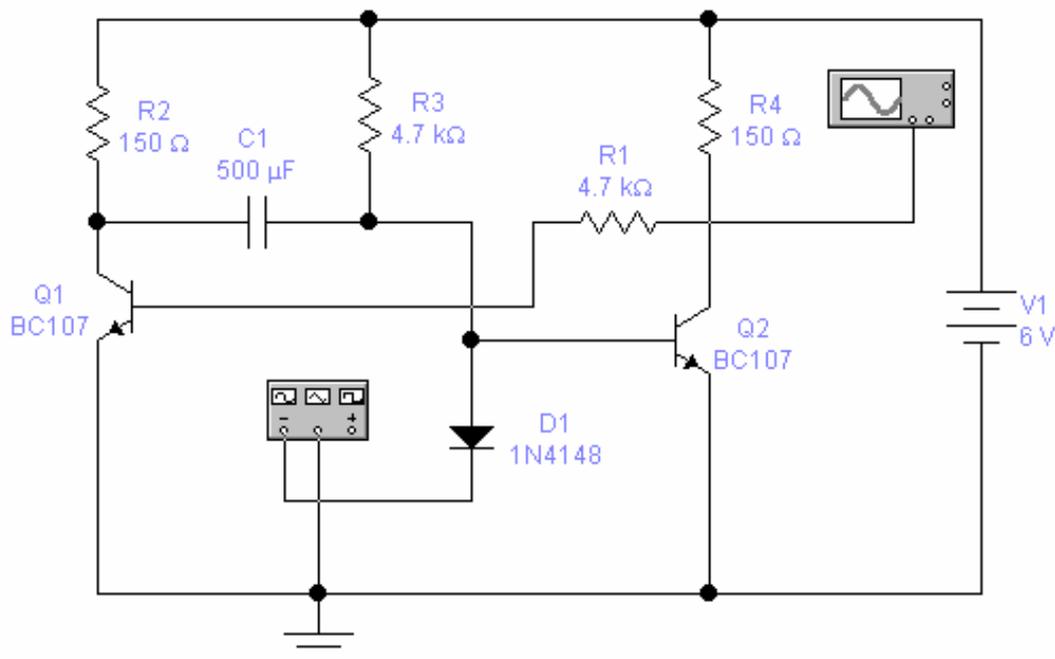


Рисунок 4.12 Ждущий мультивибратор (одновибратор)

С выхода одновибратора (рисунок 4.12) можем получать прямоугольные импульсы различной длительности. Переводится схема из одного устойчивого состояния в другое с помощью запускающего импульса, таким образом, одновибратор имеет одно устойчивое состояние. При подаче напряжения питания на одновибратор, работающие в ключевом режиме отсечки транзисторы Q1 и Q2 приходят в состояние, при котором один находится в режиме отсечки, другой в режиме насыщения. Допустим, Q1 находится в режиме отсечки, а Q2 в режиме насыщения; в этом случае C1 заряжается до напряжения источника за время от 0 до t_1 . В момент времени t_1 на вход тр-ра Q2 подается с цепочки запуска RC короткий отрицательный импульс, который мгновенно запирает Q2, переводя его в режим отсечки. Заряженный конденсатор C1 в этот момент начинает разряжаться через открывшийся падением напряжения на R1 транзистор Q1. Конденсатор C1, полностью разрядившись, стремится перезарядиться до напряжения источника, и т.д.

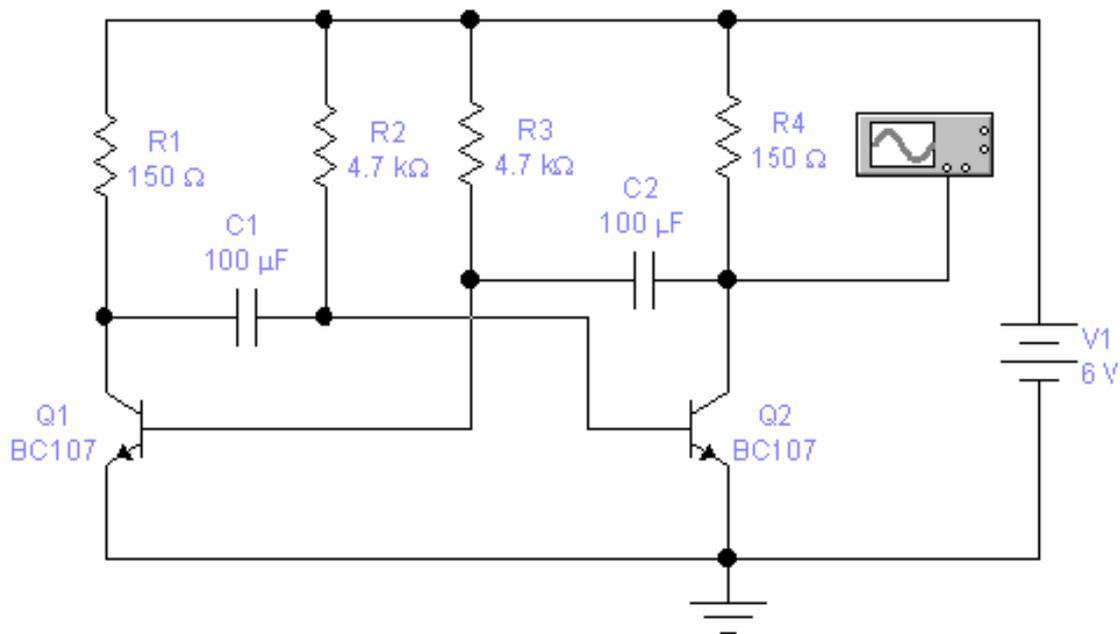


Рисунок 4.13 Автогенератор прямоугольных импульсов

На рисунке 4.13 представлена схема автоколебательного мультивибратора. Контур обратной связи характеризуется двумя постоянными времени $C1R2$ и $C2R3$. Когда включается источник питания, через один из транзисторов проходит больший ток, чем через другой. Благодаря наличию цепи обратной связи это приводит к тому, что один из транзисторов приходит в состояние насыщения, а другой - в состояние отсечки. Предположим, что транзистор Q1 открыт и насыщен, а Q2 закрыт. Затем конденсатор C1 заряжается до $-V1$ вольт и удерживает Q2 в запертом состоянии. Конденсатор C1 начинает разряжаться через резистор R2, пытаясь перезарядиться до $+V1$, как и в случае одновибратора. В момент, когда потенциал цепочки R2-C1 проходит через нуль и достигает величины порогового напряжения, транзистор Q2 открывается, закрывая транзистор Q1. Конденсатор C1 теперь скачком перезаряжается в отрицательном направлении, сохраняя транзистор Q1 в закрытом состоянии. Как только конденсатор C2 разрядится через R3, откроется транзистор Q1 и цикл повторится. Выходной сигнал в виде последовательности прямоугольных импульсов снимается с коллектора

любого из транзисторов. Отношение метка/пауза (коэффициент заполнения) определяется временными постоянными схемы.

4.4 Схемы на операционных усилителях.

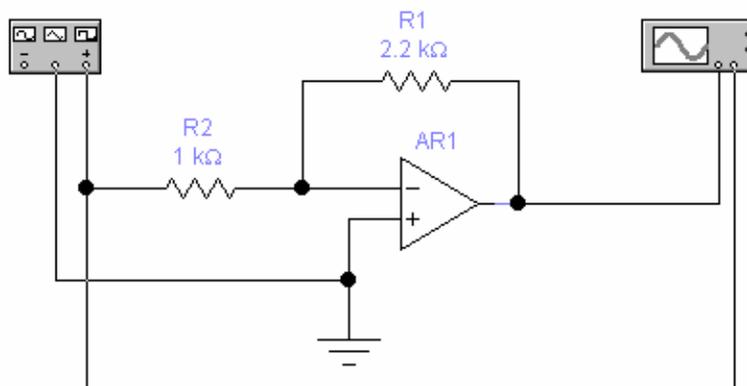


Рисунок 4.14 Общий вид схемы на операционном усилителе.

На рисунке 4.14 представлена рабочая схема включения операционного усилителя (ОУ) с использованием внешних элементов и при замкнутой петле обратной связи. Сигнал с выхода ОУ подается на его вход через активное или полное сопротивление. Почти во всех случаях этот выходной сигнал проходит на отрицательный или инвертирующий вход и при этом формируется отрицательная обратная связь (которая обеспечивает требуемый коэффициент усиления и частотную характеристику).

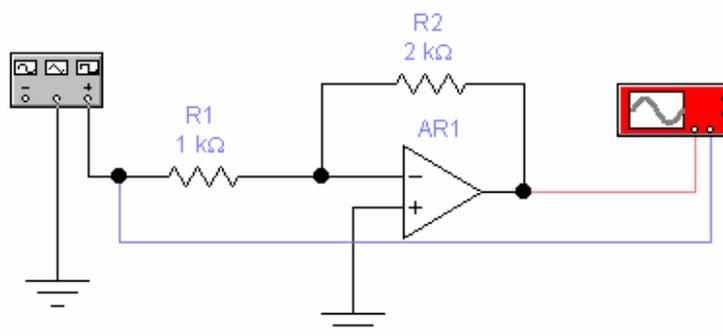


Рисунок 4.15 Инвертирующий усилитель

Для получения коэффициента усиления нужного уровня вводится отрицательная связь через резистор обратной связи R2.

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя (рисунок 4.15) можно рассчитать по формуле:

$$G = - R_2/R_1;$$

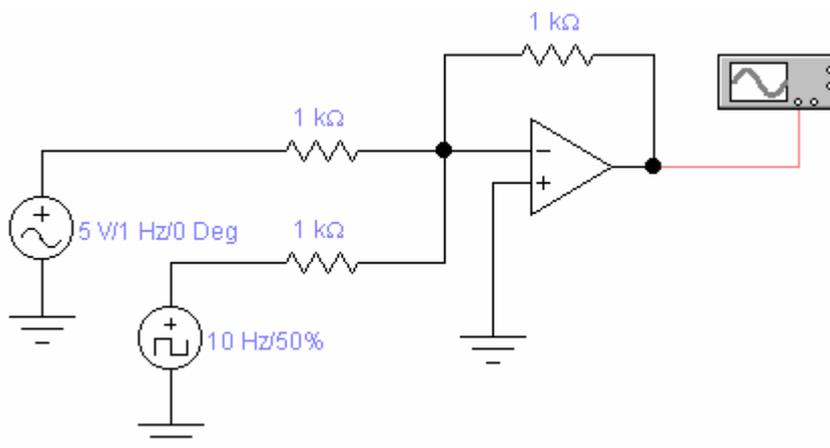


Рисунок 4.16 Суммирующий усилитель.

Суммирующий усилитель (рисунок 4.16) вырабатывает выходное напряжение, величина которого пропорциональна сумме входных напряжений U_1 и U_2 .

Для U_1 коэффициент усиления $G = R_0/R_1$, а для U_2 $G = - R_0/R_2$; где U_1 и U_2 – напряжения на входе;

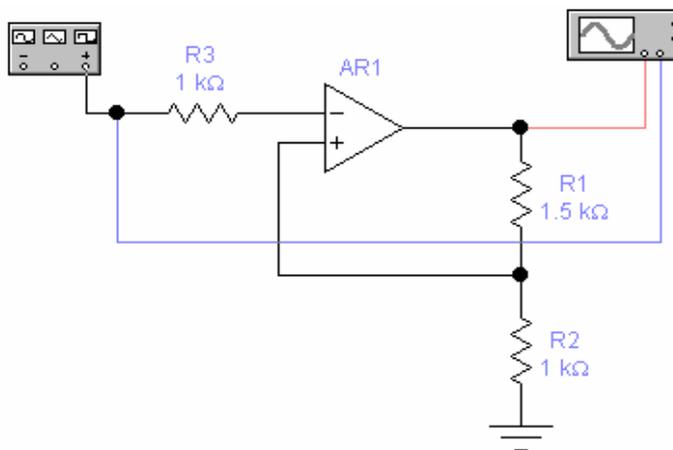


Рисунок 4.17 Неинвертирующий усилитель

Входной сигнал подается на неинвертирующий вход ОУ. Коэффициент усиления усилителя (рисунок 4.17) равен:

$$G = (R_1+R_2)/R_1;$$

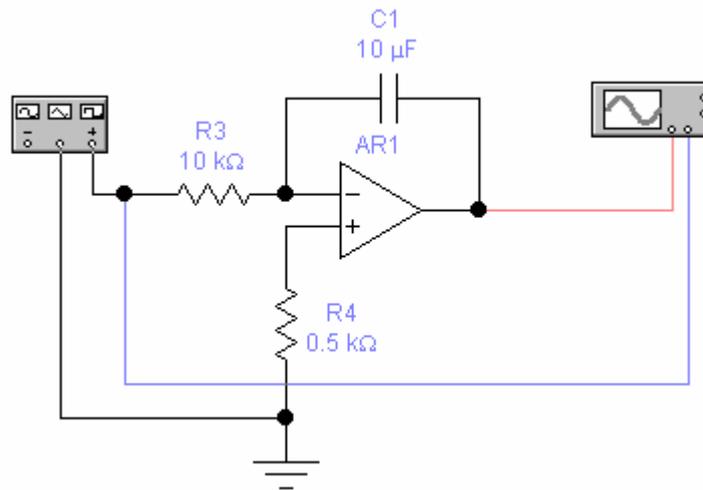


Рисунок 4.18 Интегрирующий усилитель.

C1 – элемент обратной связи. При подаче перепада напряжения на вход схемы (рисунок 4.18) выходной сигнал начинает нарастать от нулевого значения с постоянной скоростью и имеет полярность, противоположную полярности входного сигнала.

Скорость изменения выходного напряжения определяется постоянной времени $C1R3$, а так же величиной входного сигнала.

Скорость изменения входного напряжения = $- U1/(C1*R1)$; где $U1$ - входное напряжение;

Если на вход подать синусоиду, на выходе будет так же синусоида. В этом случае схема работает как усилитель с коэффициентом усиления по переменному току, определяемым постоянной времени $C1R3$ и частотой входного сигнала.

$$G = X_c / R1; \text{ где } X_c = 1 / 2*3.14*f; f = 1 / T;$$

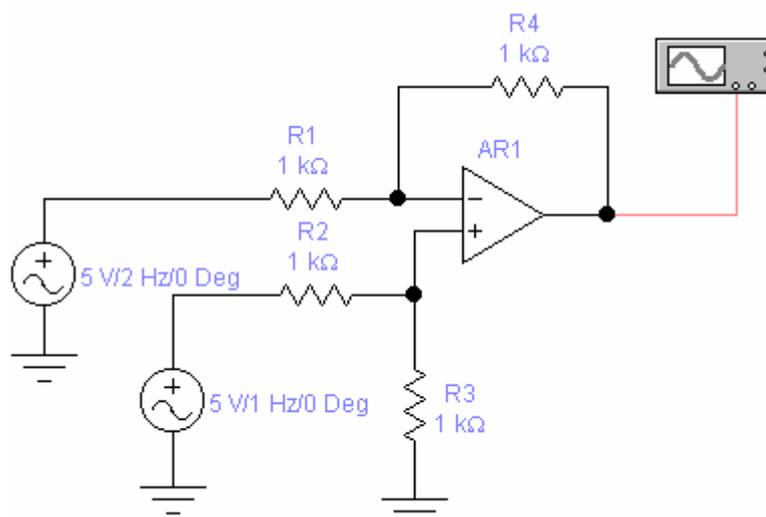


Рисунок 4.19 Дифференциальный усилитель.

На выходе схемы (рисунок 4.19) вырабатывается сигнал, пропорциональный разности входных сигналов U_1 и U_2 . При $R_1=R_2$ имеем:

$$U_v = -R_4 \cdot (U_1 - U_2) / R_1$$

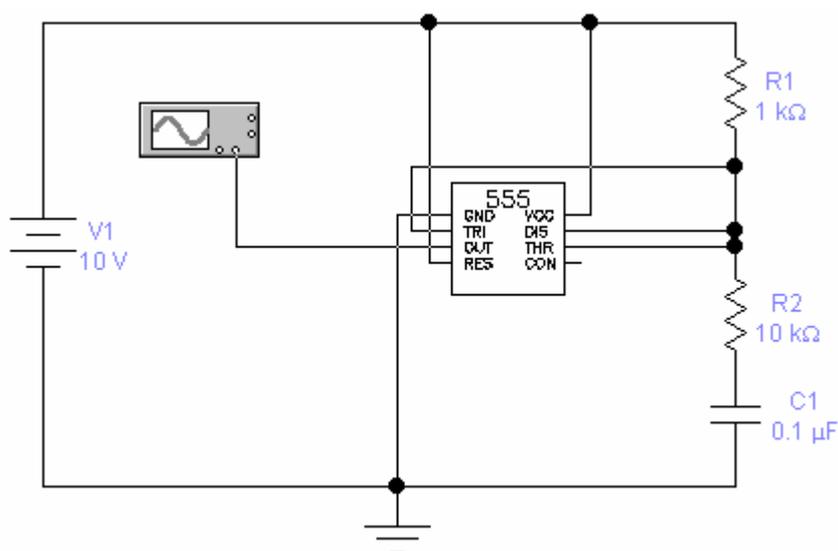


Рисунок 4.20 ИМС 555, включенная как генератор.

Наиболее популярная ИС таймера- это схема 555 (и её разновидности). При подаче сигнала на вход ТРИГГЕР выходной сигнал переключается на ВЫСОКИЙ уровень (около $U_{кк}$) и остаётся в этом состоянии до тех пор, пока не произойдет переключение входа ПОРОГ; в этот момент выходной сигнал падает до НИЗКОГО уровня (около потенциала “земли”) и тогда включается транзистор РАЗРЯД. Вход ТРИГГЕР включается при уровне входного сигнала меньше $1/3 \cdot U_{кк}$, а ПОРОГ – при уровне входного сигнала больше $2/3 \cdot U_{кк}$. Схема представлена на рисунке 4.20.

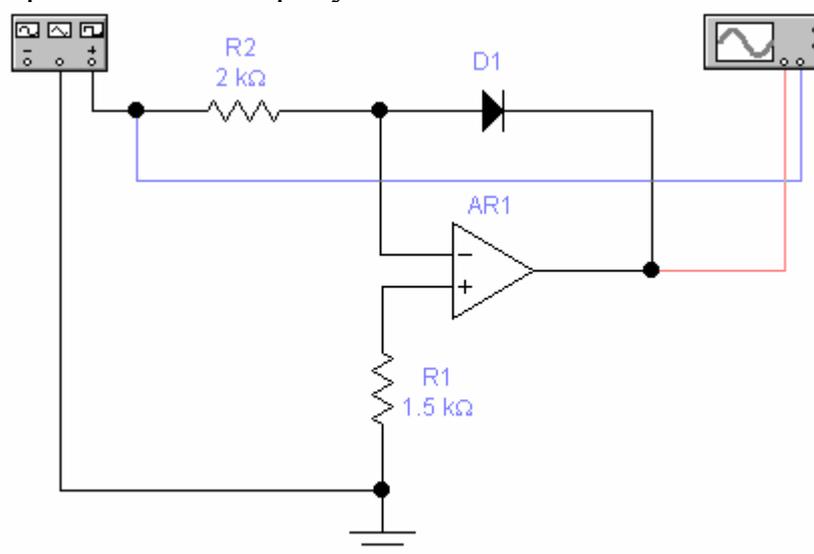


Рисунок 4.21 Логарифмический усилитель с диодом.

Логарифмическим называется усилитель (рисунок 4.21), выходное сопротивление которого пропорционально логарифму от его входного напряжения. Логарифмические усилители формируют на выходе напряжение только одной полярности. Для данной схемы при положительном входном напряжении на выходе схемы формируется отрицательное напряжение.

4.5 Триггеры

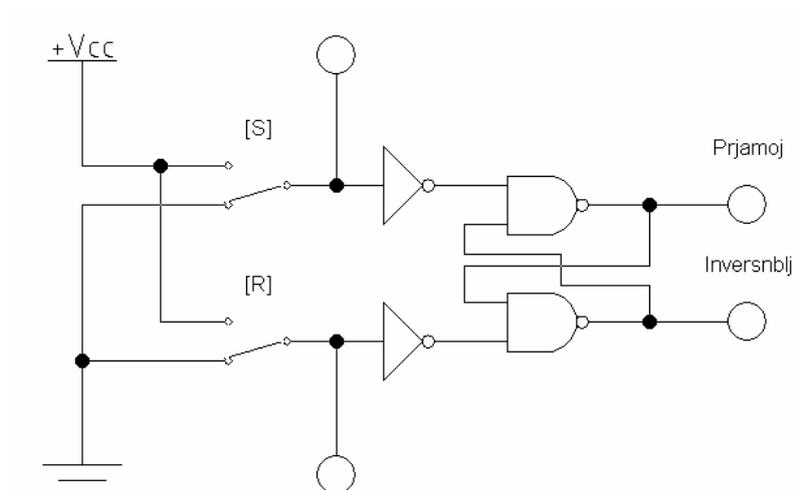


Таблица 1

Входы		Состояния	
R	S	0(Q)	1(Q)
0	0	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	1	-	-

Рисунок 4.22 Асинхронный RS-триггер на элементах И-НЕ

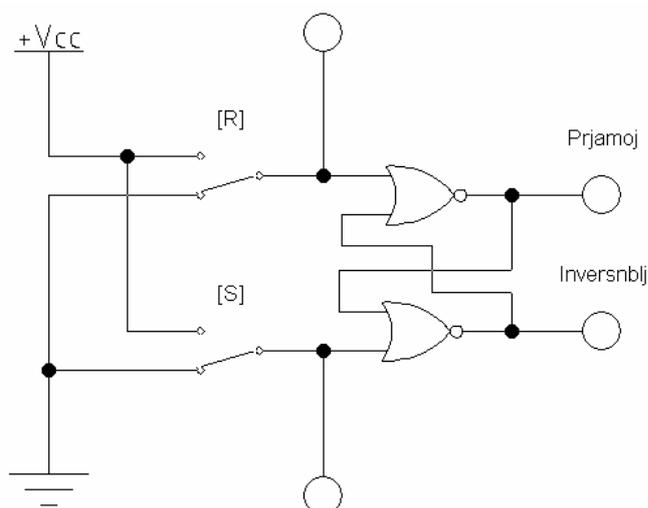


Таблица 1А

Входы		Состояния	
R	S	0(Q)	1(Q)
0	0	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	1	-	-

Рисунок 4.23 Асинхронный RS-триггер, построенный на элементах ИЛИ-НЕ.

Триггеры RS-типа представляют собой устройство, имеющее два информационных входа: R(reset) и S(set). В нем возможны два устойчивых состояния: при R=0 и S=1, Триггер RS-типа (рисунок 4.23)

при $R=1$ и $S=0$ – нулевое состояние (режим хранения нуля). Таким образом, вход S отвечает за установку триггера в состояние 1, а вход R – в состояние 0. Для триггера RS-типа комбинация $S=1$ и $R=1$ является запрещенной, т.к. после такой комбинации состояние триггера будет неопределенным; комбинация $S=0$ и $R=0$ не меняет состояние триггера. Логика работы асинхронного RS-триггера описывается таблицей переходов (Таблица 1).

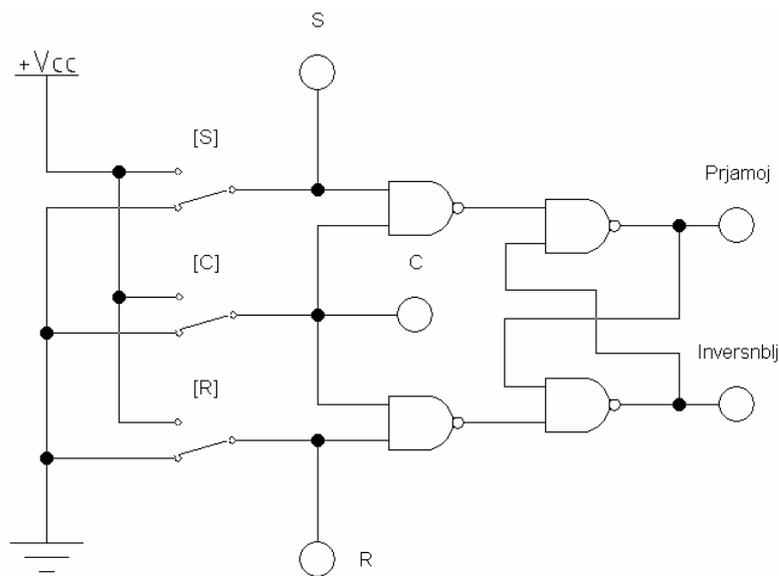


Рисунок 4.24 Синхронный RS-триггер

Синхронный RS-триггер имеет дополнительный вход синхронизации C , на который поступает синхросигнал. (рисунок4.24) Информационные сигналы R и S воздействуют на состояние триггера только при значении синхросигнала $C=1$; при $C=0$ запись в триггер не разрешена, и его состояние не меняется. При значении синхросигнала $C=1$ синхронный RS-триггер начинает работать в соответствии с логикой работы асинхронного RS-триггера. Контроль логики работы синхронного RS-триггера описывается таблицей переходов (Таблица 2).

Таблица 2

Входы			Состояния	
C	R	S	0(Q)	1(Q)
0	0	0	0	1
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	0	1
1	0	0	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	1	-	-

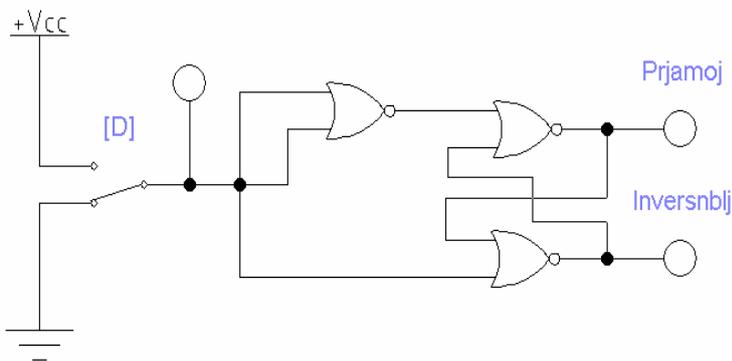


Таблица 3 а

Входы	Состояния	
	0(Q)	1(Q)
D	0	0
0	0	0
1	1	1

Рисунок 4.25 Асинхронный D-триггер, построенный на основе асинхронного RS-триггера (статический режим работы).

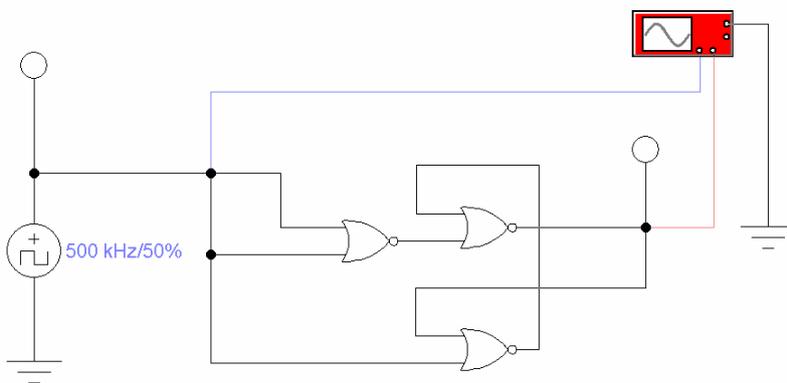
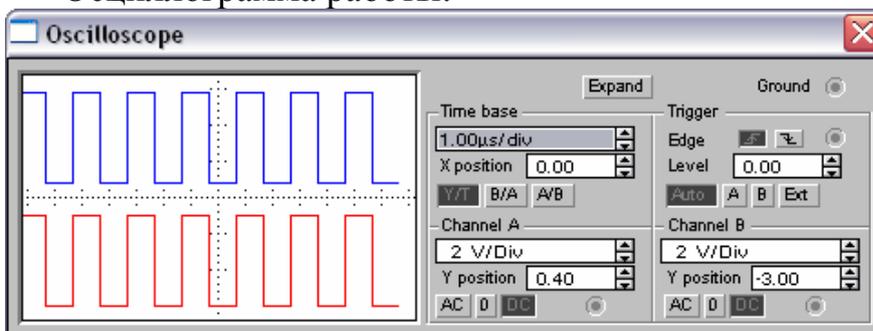


Таблица 3 б

Входы	Состояния	
	0(Q)	1(Q)
D	0	0
0	0	0
1	1	1

Рисунок 4.26 Асинхронный D-триггер (динамический режим работы).

Оциллограмма работы:



Асинхронный D-триггер (рисунок 4.26) по существу не является элементом памяти и служит лишь основой для построения синхронного.

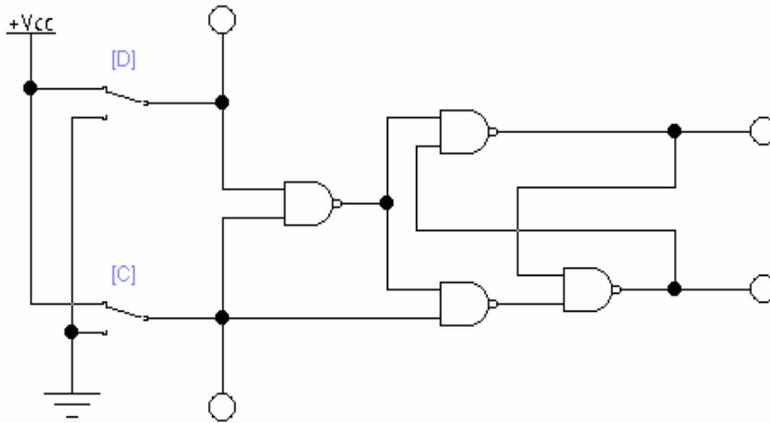


Рисунок 4.27 Синхронный D-триггер, построенный на элементах И-НЕ (статический режим работы).

Синхронный D-триггер имеет дополнительный вход синхронизации С, на который поступает синхросигнал. Информационный сигнал D воздействует на состояние триггера только при значении синхросигнала С=1; при С=0 запись в триггер не разрешена, и его состояние не меняется (рисунок 4.27). При значении синхросигнала

Таблица 4

Входы		Состояния	
С	D	0(Q)	1(Q)
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	0
1	1	1	1

С=1 синхронный D-триггер начинает работать в соответствии с логикой работы асинхронного D-триггера. Контроль, логика работы синхронного D-триггера описывается таблицей переходов (Таблица 4).

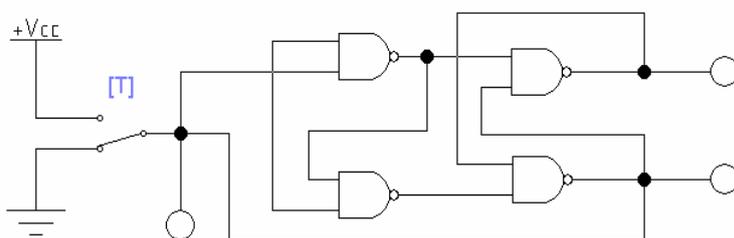


Таблица 5 а

Входы	Состояния	
T	0(Q)	1(Q)
0	0	1
1	1	0

Рисунок 4.28. Синхронный T-триггер, на основе D-триггера (статический режим)

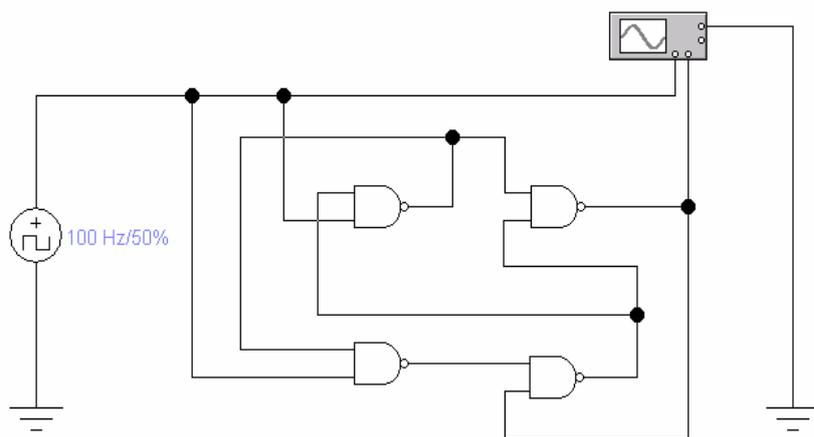


Таблица 5 б

Входы	Состояния	
	0(Q)	1(Q)
T	0	1
0	0	1
1	1	0

Рисунок 4.29 Асинхронный Т-триггер, построенный на основе синхронного D-триггера (динамический режим работы)

Триггер Т-типа – это логическая схема с двумя устойчивыми состояниями и одним информационным входом Т, изменяющая свое состояние на противоположное всякий раз, когда на вход Т поступает управляющий сигнал. Т-триггер часто называют триггером со счетным входом, т.к. по существу он производит суммирование по модулю два. При Т=1 асинхронный Т-триггер изменяет свое состояние, а при Т=0 состояние не меняется. Логика работы асинхронного Т-триггера представлена в таблице 5. а,б

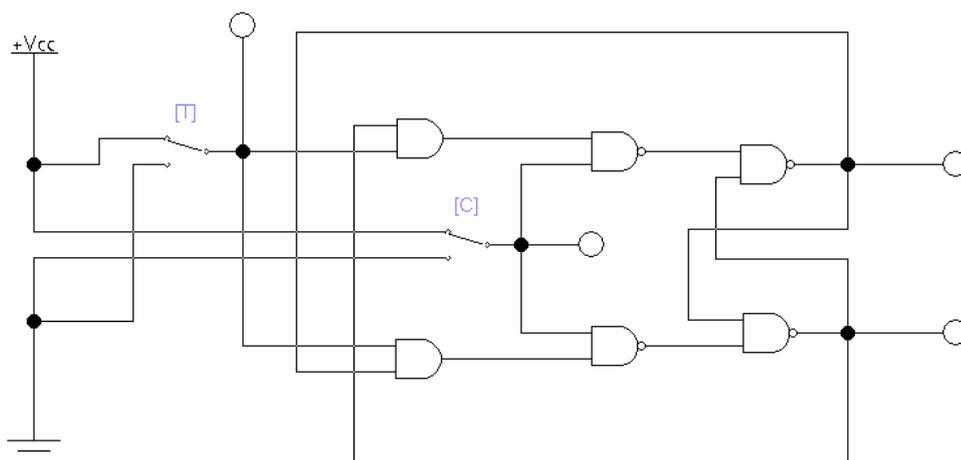


Рисунок 4.30 Синхронный Т-триггер, построенный на основе синхронного RS-триггера.

Синхронный Т-триггер имеет дополнительный вход синхронизации С, на который поступает синхросигнал. Информационный сигнал Т воздействует на состояние триггера только при значении синхросигнала С=1; при С=0 запись в триггер не разрешена, и его состояние не меняется. При значении

синхросигнала $C=1$ синхронный Т-триггер начинает работать в соответствии с логикой работы асинхронного Т-триггера. Контроль логики работы синхронного Т-триггера описывается таблицей переходов (Таблица 6).

Таблица 6

Входы		Состояния	
С	Т	0(Q)	1(Q)
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

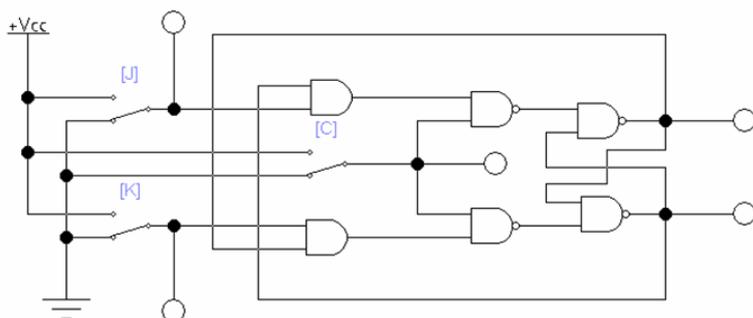


Рисунок 4.31 Синхронный JK-триггер, построенный на основе синхронного RS-триггера

Таблица 7 а

Входы		Состояния	
J	K	0(Q)	1(Q)
0	0	0	1
0	1	0	0
1	0	1	1
1	1	1	0

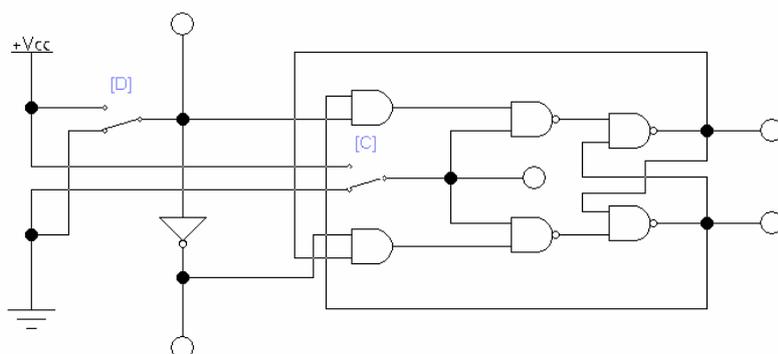


Рисунок 4.32 D-триггер на основе универсального JK-триггера

Таблица 7 б

Входы		Состояния	
J	K	0(Q)	1(Q)
0	0	0	1
0	1	0	0
1	0	1	1
1	1	1	0

Триггер JK-типа называют универсальным триггером, т.к. у его входов нет неопределенного состояния. Если на входы J и K подаются логические единицы, то состояние JK-триггера меняется на противоположное (инвертируется). Если на входы J и K подан один и тот же сигнал, то JK-триггер работает как Т-триггер. В остальных случаях он функционирует как RS-триггер. При этом вход J эквивалентен входу S, а K – входу R.

На основе JK-триггера с помощью несложных коммутационных изменений можно получить RS- и T-триггеры. Например, если соединить вместе входы J и K, то триггер станет счетным и превратится в триггер T-типа. При нулевых значениях входов триггер остается в текущем состоянии. Следовательно, при одновременной подаче сигнала на оба входа JK-триггер функционирует как T-триггер.

Если же на вход K подать инверсию сигнала, подаваемого на вход J, то JK-триггер будет работать как D-триггер (см. таблицу 7). При запрещении комбинации входных сигналов J=1 и K=1 из JK-триггера можно получить RS-триггер. Логика работы асинхронного JK-триггера при представлена в таблице 7.а,б

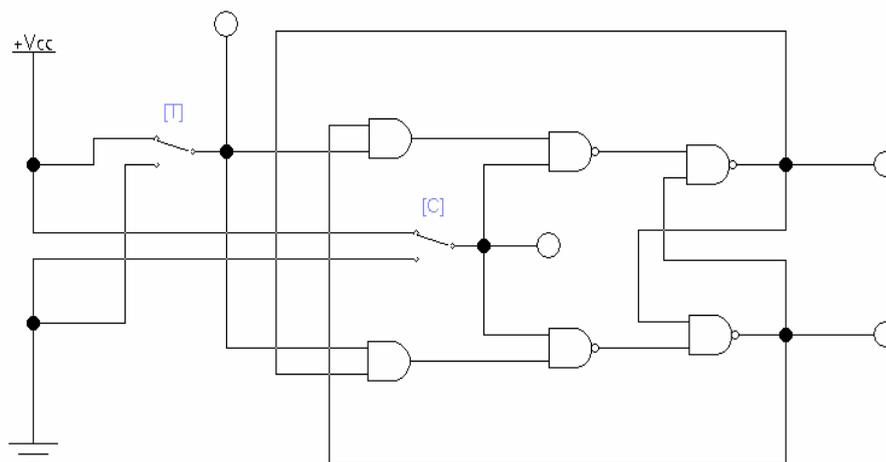


Рисунок 4.33 T-триггер на основе универсального JK-триггера

Синхронный JK-триггер имеет дополнительный вход синхронизации C, на который поступает синхросигнал. Информационные сигналы J и K воздействуют на состояние триггера только при значении синхросигнала C=1; при C=0 запись в триггер не разрешена, и его состояние не меняется. При значении синхросигнала C=1 синхронный JK-триггер начинает работать в соответствии с

Таблица 8

Входы			Состояния	
C	J	K	0(Q)	1(Q)
0	0	0	0	1
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	0	1
1	0	0	0	1
1	0	1	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	1	0

логикой работы асинхронного JK-триггера. Контроль, логика работы синхронного JK-триггера описывается таблицей переходов (Таблица 8).

4.6 Базовые цифровые элементы

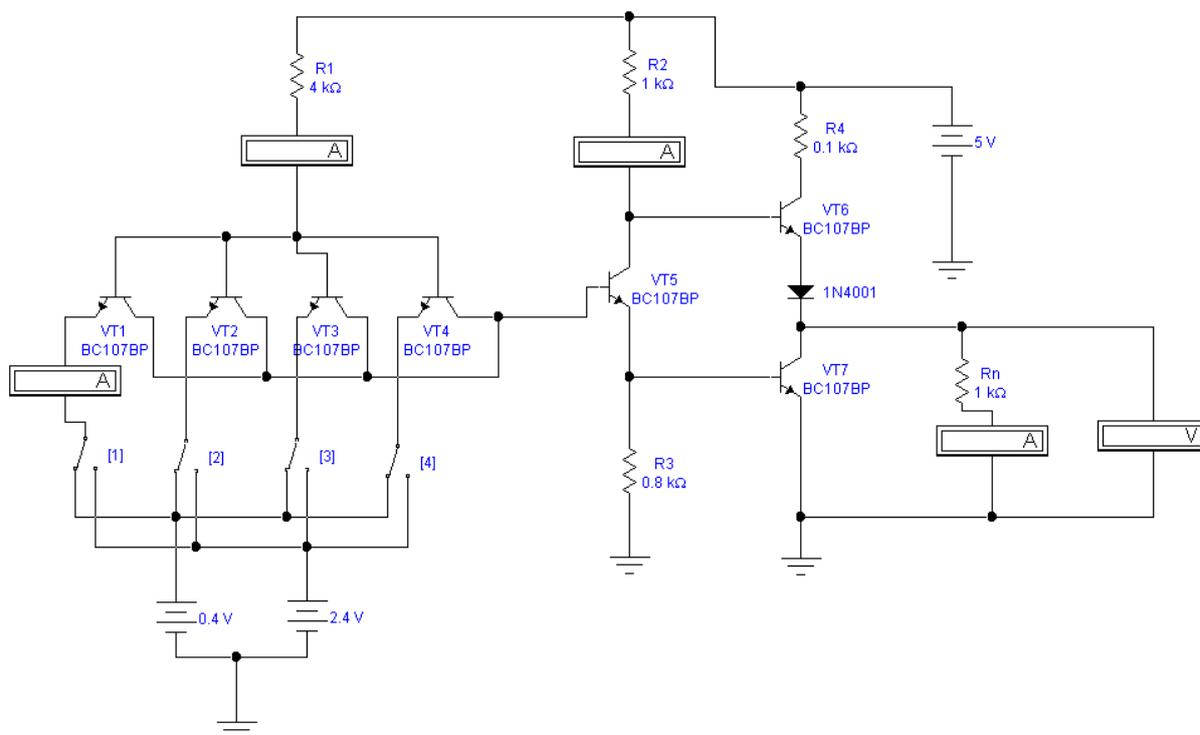


Рисунок 4.34 Базовый логический элемент ТТЛ .

Характерной особенностью ТТЛ является использование многоэмиттерных транзисторов. Эти транзисторы сконструированы таким образом, что отдельные эмиттеры не оказывают влияния друг на друга. Каждому эмиттеру соответствует свой p-n переход.

При мысленной замене многоэмиттерного транзистора диодами (рисунок 4.34 а.) получаем элемент диодно-транзисторной логики «И-НЕ». Из анализа схемы можно сделать вывод, если на один из входов или на оба

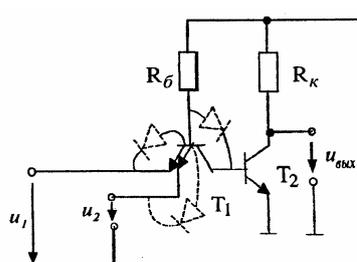


рис4.34а

входа подать низкий уровень напряжения (что соответствует нулю), то ток базы T_2 будет равен нулю, и на коллекторе транзистора T_2 будет высокий уровень напряжения (что соответствует единице). Если на оба входа подать высокий уровень

напряжения, то через базу T_2 транзистора будет протекать большой базовый ток и на коллекторе T_2 будет низкий уровень напряжения.

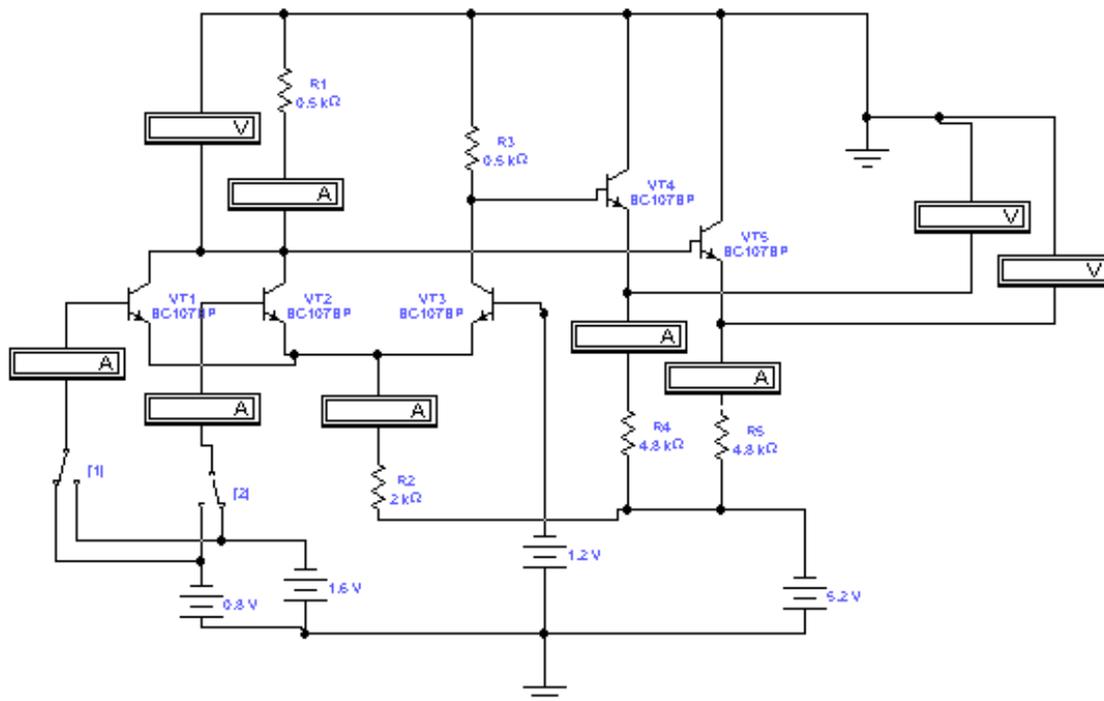


Рисунок 4.35 Базовый элемент ЭСЛ

Основой базового логического элемента ЭСЛ является токовый ключ.

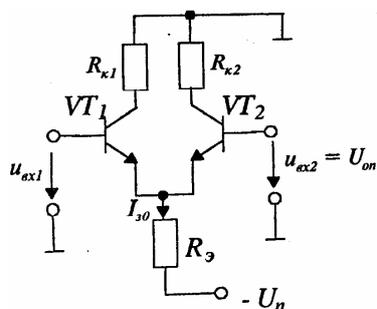


Рис4.35 б

Схема токового ключа подобна схеме дифференциального усилителя Рисунок 4.35.б .

Необходимо обратить внимание на то, что микросхемы ЭСЛ питаются отрицательным напряжением. На базу T_2 подано отрицательное опорное напряжение $U_{оп}$. Изменение входного напряжения $U_{вх1}$ приводит к перераспределению

постоянного тока I_{30} , заданного сопротивлением R_3 , между транзисторами, что имеет следствием изменение напряжений на их коллекторах. Транзисторы не входят в режим насыщения, и это является одной из причин высокого быстродействия элементов ЭСЛ.

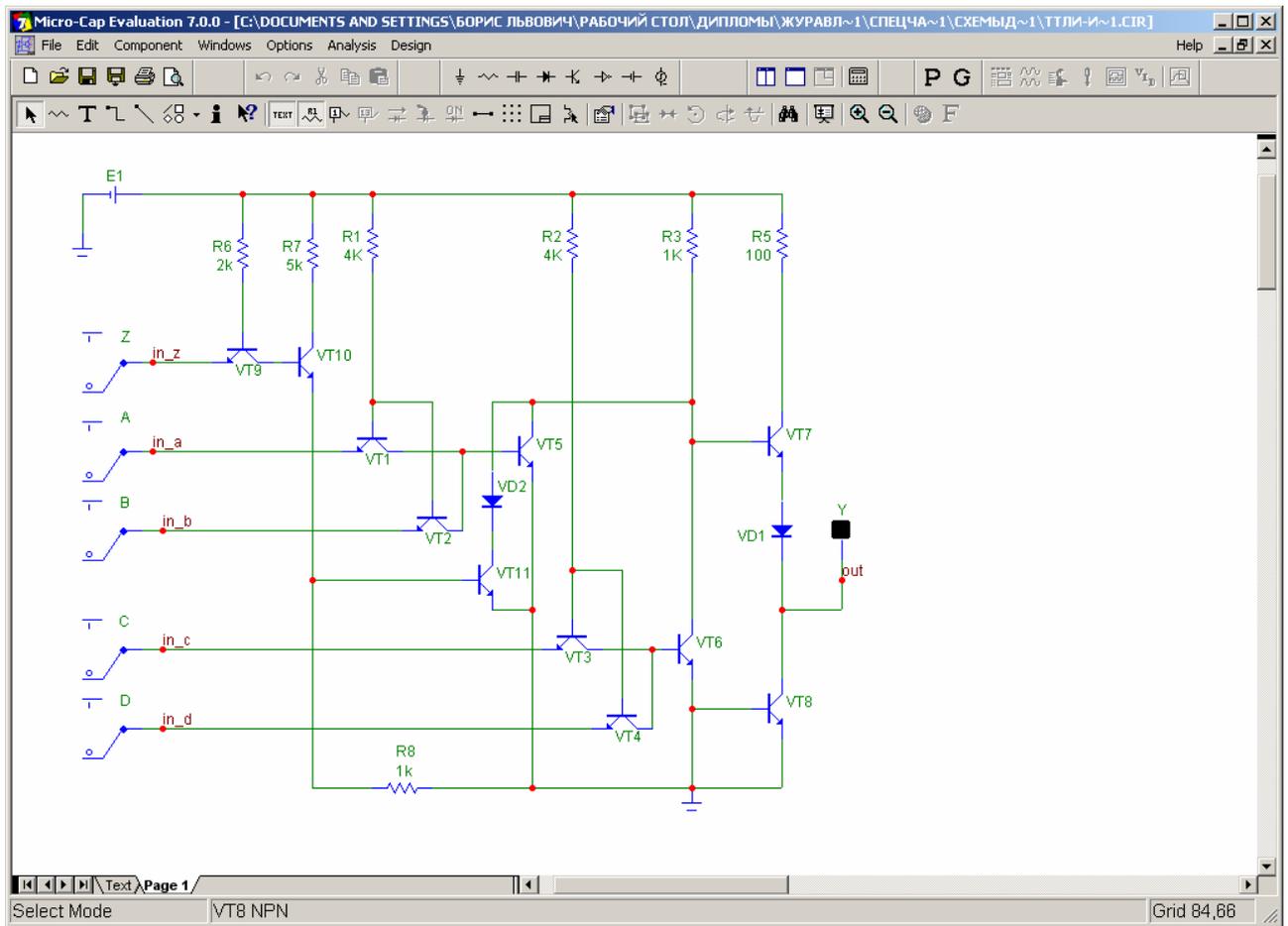


Рисунок 4.36 Схема базового элемента ТТЛ с синхровходом

Работа элемента ТТЛ с синхровходом аналогична работе элементов ТТЛ рассмотренных ранее, если на синхровход z подается сигнал высокого уровня, т.е. логической единицы, на выходе схемы устанавливается сигнал низкого уровня, и схема не реагирует на изменение информационных входных сигналов, до тех пор пока на синхровход z не будет подан сигнал низкого уровня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC (Electronic Workbench)-М.; Солон Р, 2000
2. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap , -М; Солон, 1997.
3. Электротехника и Электроника в экспериментах и упражнениях под редакцией Д.И Панфилова., М., Додэка, 2000.
4. Кардашев Г.А. Цифровая электроника на персональном компьютере, М; Горячая линия – Телеком, 2003.
5. Алиев А.А. Виртуальная электротехника, М, Радиософт, 2003.
6. Кучумов А.И. Электроника и схемотехника, М.; Гелиос АРВ, 2004.
7. Резников Б.Л., Виртуальное исследование полупроводниковых приборов и аналоговых схем на IBM PC, М.МГТУ ГА, 2001.
8. Разевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap, М; Горячая линия – Телеком, 2003.
- 9 Резников Б.Л., Зотов А.Б., Компьютерное моделирование устройств электроники, М., МГТУ ГА, 2001.
10. Резников Б.Л., Бобылев А.В., Журавлев А.А. Автоматизированная среда Micro-Cap в учебном процессе. М, МГТУ ГА, 2003.
11. Резников Б.Л. Тексты лекций. М, МГТУ ГА, 2003
12. Перельман Б.Л. Справочник по полупроводниковым приборам, М.: Микротех. 1996
13. Резников Б.Л., Виртуальное исследование полупроводниковых приборов и аналоговых схем на IBM PC, М. МГТУ ГА, 2001
14. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника, М, , Питер ,2003
15. Браммер Ю.А., Пащук И.Н. Импульсные и цифровые устройства, М., Высшая школа, 1999
16. Барри Уилкинсон , Основы проектирования цифровых схем , М, С.Петербург и др.,2004

17. Бобровников А. З., Электроника М, С.Петербург и др., Питер ,2004
18. Резников Б.Л., Журавлев А.А., Схемотехническое моделирование базовых логических элементов цифровой электроники, М.МГТУ ГА, 2002
19. Резников Б.Л., Бобылев А.В., Журавлев А.А., Автоматизированная среда MicroCap в учебном процессе, М. МГТУ ГА, 2003
20. Павлов В.Н., Ногин В.Н., Схемотехника аналоговых электронных устройств, Горячая линия-Телеком, М. 2001
21. Быстров Ю.А., Электроника. Справочная книга, С-П. Энергоатомиздат 1996
22. Джонс М.Х., Электроника – практический курс, М. Постмаркет, 1999
23. Гусев В.Г., Гусев Ю.М., Электроника, М.Высшая школа, 1991
24. Ибрагим К.Ф., Основы электронной техники М., Мир, 1997