

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет
Кафедра радиотехники и радиосистем

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Методическое руководство к лабораторным работам

Составители
А.С. МЕРКУТОВ
П.А. ПОЛУШИН
Л.Т. СУШКОВА

Владимир 2003

УДК 621.396.62(075.8)

Рецензент
Доктор технических наук,
профессор Владимирского государственного университета
В.Н. Ланцов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Методическое руководство к лабораторным работам по дисциплине «Основы автоматизации схемотехнического проектирования» / Владим. гос. ун-т; Сост. А.С. Меркутов, П.А. Полушин, Л.Т. Сушкова. Владимир, 2003. 28 с.

Содержит описание трех лабораторных работ, ориентированных на освоение базовых методов анализа электронных устройств и их использование при решении различных задач схемотехнического моделирования в среде САПР Advanced Design System (ADS). Лабораторные работы рассчитаны на приобретение практических навыков работы с интерфейсом, библиотеками компонент и управляющими командами САПР, активно используемыми в современных компьютерных технологиях по разработке радиотехнических устройств и систем.

Предназначено для студентов специальностей 200700 – радиотехника и 071500 – радиофизика и электроника.

Табл. 5. Ил. 19. Библиогр.: 3 назв.

УДК 621.396.62(075.8)

ВВЕДЕНИЕ

Система автоматизированного проектирования *Advanced Design System* (программный продукт фирмы *Agilent Technologies*) предназначена для разработки аналоговых и цифровых радиоэлектронных устройств широкого класса. Ниже приводится последовательность основных команд, ориентированных на сеанс работы с программным обеспечением данной САПР.

1. Запустить программу *Advanced Design System*. Сгенерируется окно главного меню.

2. Установить режим работы системы – аналоговый, если это необходимо, выполнив команду **Options> Advanced Design System Setup>Analog Only**. Выйти из программы и снова ее запустить.

3. Создать новый проект – команда **File>New Project**.

4. Присвоить имя новому проекту и открыть его. К имени автоматически присоединяются символы **_prj**.

5. Открыть окно схемного редактора командой **File>New Schematic**.

6. Сформировать схемный проект.

7. Сохранить содержимое окна схемного редактора. Файл получает расширение ***.dsn** и размещается в подкаталоге **network**.

8. Результаты моделирования (графики, таблицы и т.п.) сохранить в файле с расширением ***.dds**.

Далее приводится описание лабораторных работ, ориентированных на приобретение навыков по выполнению базовых видов анализа электронных устройств: анализа статического режима, анализа частотных, переходных и спектральных характеристик.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

1. Цель работы

Исследование усилительного каскада в статическом режиме с помощью САПР ADS.

2. Задание

2.1. Подготовить проект задания на проведение расчета рабочих точек активных приборов (токи и напряжения $p-n$ переходов) предложенной схемы усилителя.

2.2. Провести расчет статического режима, проанализировать полученные рабочие точки усилителя, при необходимости скорректировать параметры усилителя таким образом, чтобы он находился в режиме класса А, и повторить расчет.

2.3. Провести расчет зависимости напряжений на переходах транзисторов от напряжения источника питания в диапазоне изменения от $0,1E_{ном}$ до $2E_{ном}$ ($E_{ном}$ – заданное номинальное значение источника питания). По результатам приближенно оценить диапазон изменения напряжения питания, когда сохраняется работоспособность усилителя.

3. Пример выполнения задания

3.1. Чтобы подготовить задание для проведения анализа статического режима схемы и определить рабочие точки транзистора, необходимо:

1) Разместить в окне схемного редактора (рис. 1) контроллер **Component Palette List>Devices_VJT>VJTModel**, в котором необходимо определить параметры эквивалентной схемы биполярного транзистора. В этом случае необходимые параметры транзистора берутся из справочника либо из табл.5. Некоторые из них приведены ниже:

- а) тип проводимости транзистора (**PNP**);
- б) коэффициент передачи по току при включении транзистора по схеме общим эмиттером (**$\beta_f = 35$**);
- в) емкость перехода база – коллектор при нулевом смещении (**$C_{jc}=60$ pF**);
- г) емкость перехода база – эмиттер при нулевом смещении (**$C_{je} = 250$ pF**);
- д) активное сопротивление базы (**$R_b = 10$ Ohm**).

2) Разместить пассивные элементы с сосредоточенными параметрами из группы **Component Palette List > Lumped-Components**, а также сам биполярный транзистор **BJT_PNP** из ранее указанной группы. Задать номиналы элементов можно путем их активизации и записи в поле окна **“Select Parameter”** требуемых значений ($R = 0.91 \text{ MOhm}$, $L = 88 \text{ uH}$, $C = 22 \text{ pF}$). Разместить источники переменного и постоянного напряжения **V_AC** и **V_DC** (10 В) из группы **Sources-Freq Domain**. Соединить проводниками размещенные компоненты с помощью команды **Wire**.

3) Присвоить имена тем узлам схемы, в которых необходимо определить напряжение (мощность), используя опцию меню схемного редактора **Insert > Component > Name Node (Wire \ Pin Label)**.

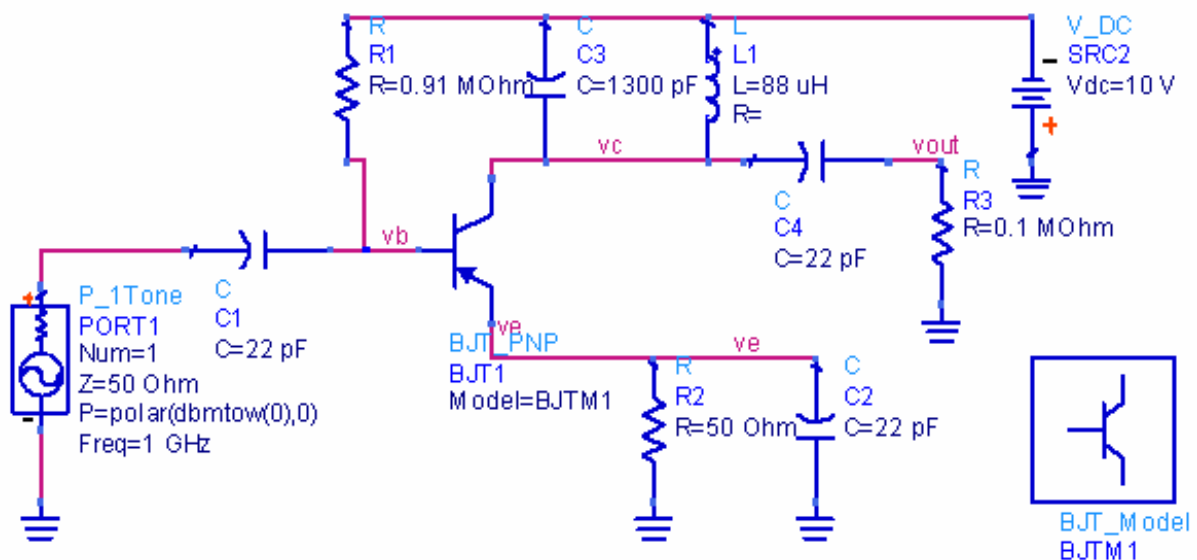


Рис. 1. Проект усилителя, подготовленный в схемном редакторе системы ADS

3.2. Для проведения анализа статического режима необходимо выполнить следующее:

1) Выбрать компоненту **Component Palette List > Simulation DC > DC** и разместить ее на схеме.

2) Выполнить команду **Simulate > Simulate**.

Для просмотра карты рабочих режимов (напряжений и токов) прямо в схемном редакторе после моделирования усилителя необходимо использовать команду **Simulation > Annotate DC Solution**. На схеме сгенерируются узловые напряжения и токи.

3.3. Определение зависимости напряжений на переходах транзисторов от напряжения источника питания проводится путем выполнения следующей последовательности действий:

1) Выбрать в меню схемного редактора компоненту **VAR** и разместить ее в окне редактора. В поле окна **Select Parameter** этого компонента указать имя переменного параметра (выбирается произвольно) и указать его среднее значение (**VIC = 10V**).

2) Активизировать компоненту источника постоянного напряжения и присвоить изменяемому параметру вместо числового значения имя переменной, указанной в блоке **VAR** (**Vdc = VIC**).

3) Выбрать компоненту **Component Palette List>Simulation-DC>PSWP**, при активизации которой необходимо:

- а) присвоить имя изменяемому параметру (**SweepVar = VIC**).
- б) установить имя контроллера проводимого анализа (**SimInstanceName[1] = DC1**).

Окончательный проект задания, подготовленного в схемном редакторе, приведён на рис.2.

4) Для просмотра результатов анализа необходимо выполнить команду **Window> New Data Display**. Для получения значений разности напряжений на переходах транзистора нужно выбрать компоненту **Eqn** (с помощью нее можно проводить любую постпроцессорную обработку выходных параметров с использованием арифметических операций и математических функций) и сформировать уравнения для определения их значений, пользуясь именами узловых напряжений, проставленных в схемном редакторе. Далее, определенные выше переменные (**VBC, VCE, VBE**) можно вывести в виде, например, графических зависимостей, как показано на рис.3. Загружаться они (после активизации графического или табличного вывода) будут с помощью команды **DataSets and Equations > Equations**.

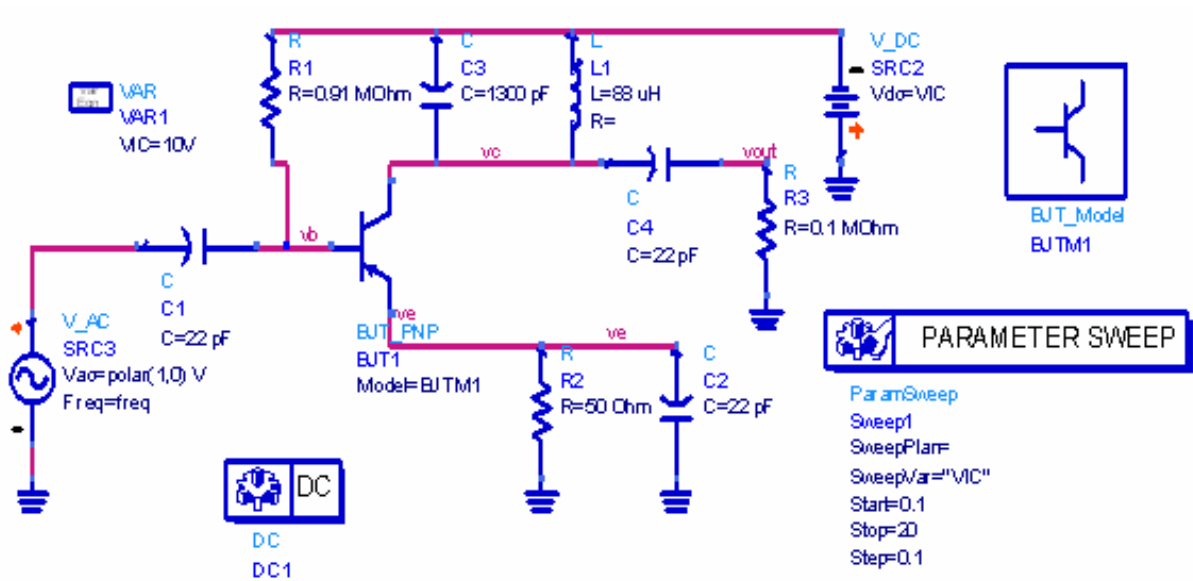


Рис. 2. Проект задания для проведения анализа статического режима при изменении напряжения питания

$$\text{Eqn } V_{BE} = v_b - v_e$$

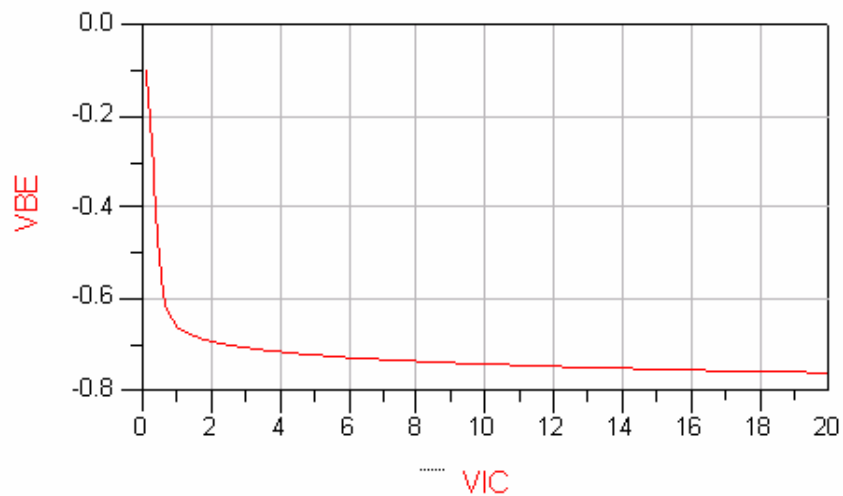


Рис. 3. График зависимости напряжения на переходе база-эмиттер транзистора от напряжения питания

4. Содержание отчета

- 4.1. Цель работы и задание.
- 4.2. Краткие теоретические сведения о методах анализа статического режима.
- 4.3. Принципиальная схема усилителя и параметры элементов.

4.4. Результаты расчетов (проекты для каждого исследования, подготовленные в схемном редакторе, карта рабочих режимов, графические зависимости).

4.5. Выводы.

5. Контрольные вопросы и задания

5.1. Какие вы знаете методы анализа статического режима, их достоинства и недостатки?

5.2. Приведите алгоритм выполнения метода Ньютона и его графическую интерпретацию.

5.3. Назовите способы решения проблемы сходимости решения при анализе статического режима.

5.4. Постройте математическую модель предложенной схемы на итерации метода Ньютона в базисе узловых потенциалов.

5.5. Как осуществляется контроль сходимости решения в методе Ньютона?

5.6. Приведите схему алгоритма работы программы анализа статического режима.

5.7. Как загружаются в матрицу проводимостей двухполюсные пассивные и активные элементы схемы?

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОСИГНАЛЬНЫХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

1. Цель работы

Исследование частотных характеристик усилительного каскада в малосигнальном режиме с помощью САПР ADS.

2. Задание

2.1. Подготовить формализованное задание в схемном редакторе для проведения расчета амплитудно- и фазочастотных характеристик (АЧХ и ФЧХ соответственно) усилителя в малосигнальном режиме.

2.2. Провести расчет АЧХ и ФЧХ усилителя и по его результатам определить полосу пропускания усилителя и коэффициент передачи на центральной частоте. Оценить по ФЧХ пределы полосы частот, в которой она остается линейной.

2.3. Путем многовариантного анализа АЧХ при значении напряжения источника питания, меняющегося в пределах от $0,3E_{ном}$ до $1,7E_{ном}$, рассчитать и построить зависимости коэффициента передачи на центральной частоте и полосы пропускания от напряжения питания.

2.4. Провести 5-7 расчетов АЧХ при различных значениях сопротивления нагрузки, определив наиболее оптимальное значение с точки зрения максимума коэффициента передачи на центральной частоте. Построить семейство полученных характеристик.

3. Пример выполнения задания

3.1. Для расчета АЧХ и ФЧХ, определения полосы пропускания усилителя необходимо выполнить следующие действия (считаем, что принципиальная схема сформирована на основании указаний предыдущей лабораторной работы):

- 1) Выбрать контроллер частотного анализа командой **Component Palette List> Simulation AC> AC** и разместить его в окне схемного редактора.
- 2) Активизировав AC- компоненту, установить начальные и конечные значения частот (**Start = 0.3MHz, Stop = 0.7MHz**), а также закон изменения частоты, например, логарифмический (**Sweep Type - Log**).
- 3) К входным узлам схемы подключить источник переменного напряжения **V_AC**, установив амплитуду, равную 1 В. Данная компонента находится в группе **Sources_Freq_Domain**.
- 4) Командой **Component>Name Node** присвоить имя выходному узлу (в данном случае – **vout**) и разместить его на схеме, указав левой клавишей мыши в нужный проводник. Полученный проект задания приведен на рис. 4.
- 5) Командой **Simulate>Simulate** запустить проект на анализ.
- 6) Для получения зависимостей АЧХ и ФЧХ, которые приведены на рис. 6, необходимо воспользоваться командой **Window>New Data**

Display, после чего указать имя выходного параметра (**vout**) в списке выводимых величин. В качестве единиц измерения выходного напряжения при оценке полосы пропускания лучше всего установить децибеллы.

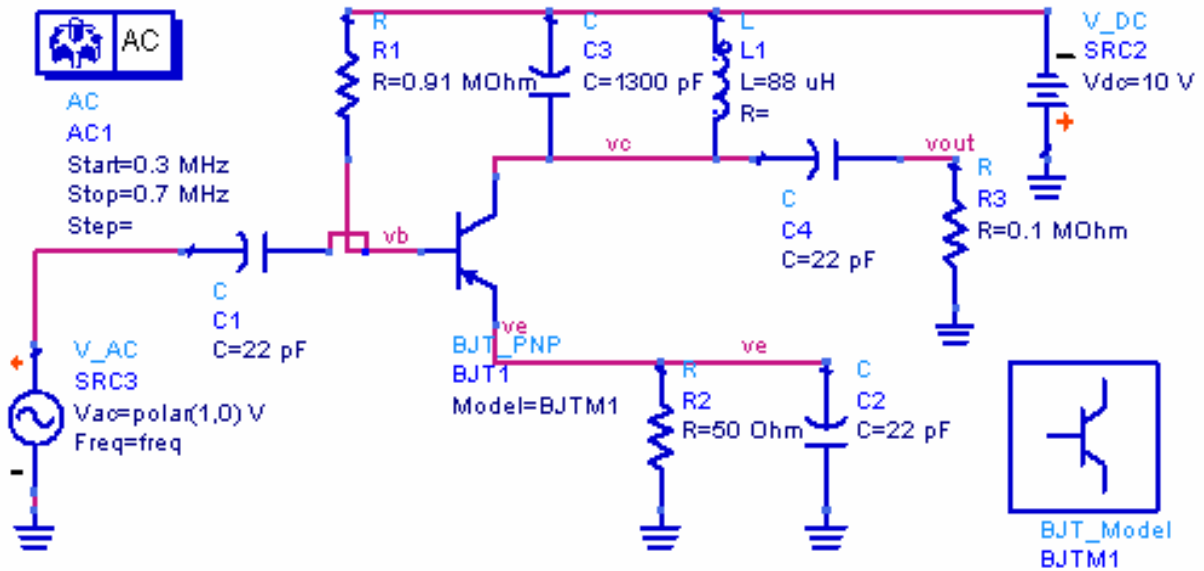


Рис. 4. Проект для проведения малосигнального частотного анализа

При визуальном определении полосы пропускания можно воспользоваться маркерами: для этого нужно выполнить команду **Marker>New** и поставить появившуюся метку на соответствующий график, отметив максимум АЧХ и боковые значения на уровне 3 дБ (рис. 5). Перемещение маркера осуществляется курсорными клавишами.

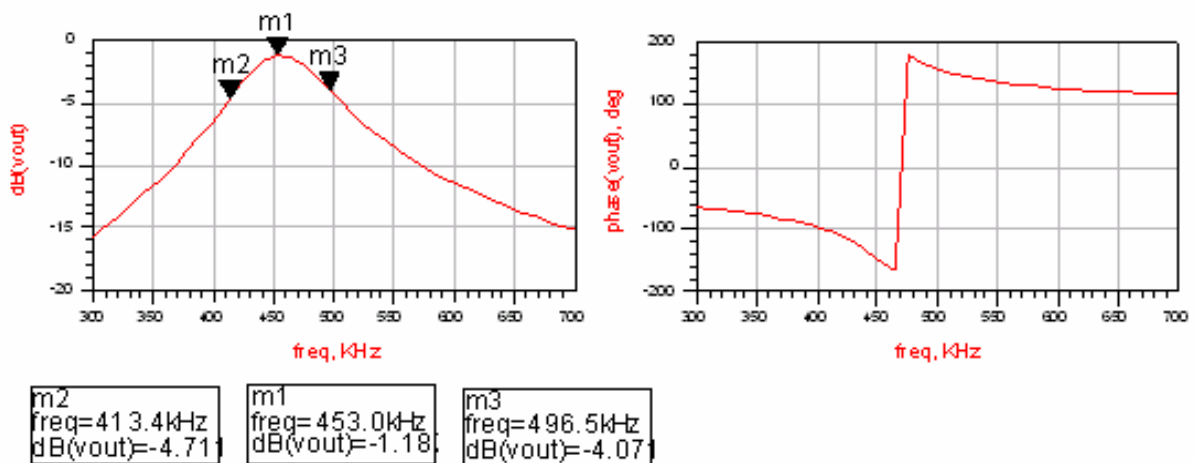


Рис. 5. Графики АЧХ и ФЧХ и применение маркеров

3.2. Для определения семейства зависимостей АЧХ и ФЧХ от напряжения питания необходимо:

- 1) Присвоить варьируемому параметру этого источника (**Vdc**) имя переменной (**VIC**) вместо числового номинального значения напряжения питания.
- 2) Описать переменную **VIC** в блоке определения переменных и уравнений **VAR**, присвоив ей номинальное значение.
- 3) Разместить компоненту **Component Palette List>Simulation-AC>PSWP**, установив в ней имя контроллера анализа (**AC1**) и имя варьируемого параметра (**VIC**). Полученный в результате выполнения указанных выше действий проект задания приведен на рис. 6.
- 4) Запустить проект на анализ командой **Simulate>Simulate**.
- 5) Результаты анализа выводятся в графическом виде командой **Window>New Data Display** при обращении к выходному параметру **vout** с помощью опций **dB** и **Phase** (рис.7). Идентификацию соответствия характеристик тому или иному значению напряжения можно легко осуществить с помощью маркеров.

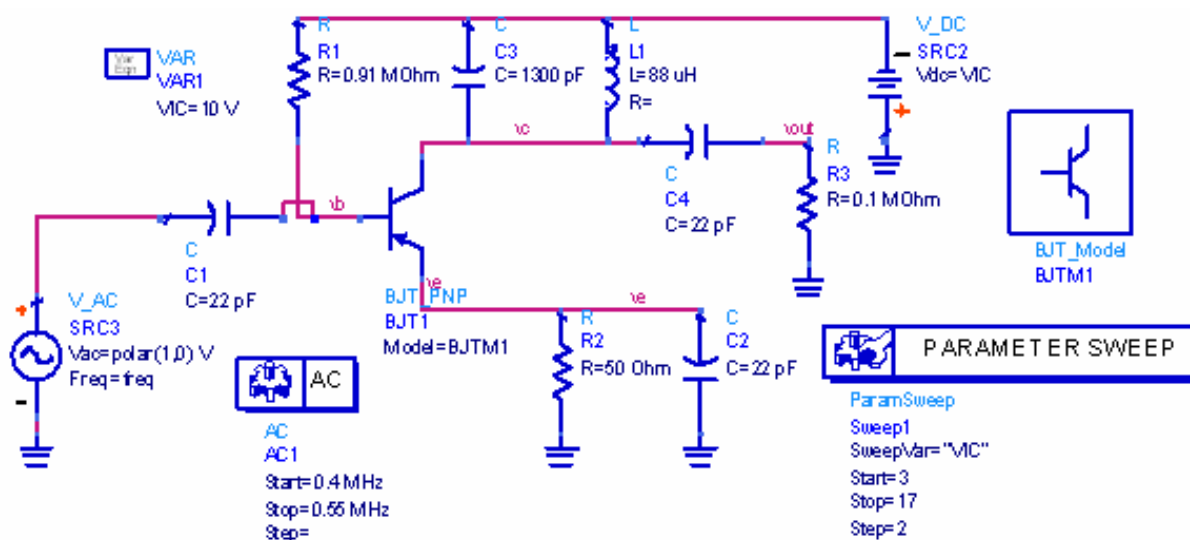


Рис. 6. Проект задания на анализ частотных характеристик в режиме изменения напряжения питания

3.3. Для определения зависимостей частотных характеристик от сопротивления нагрузки необходимо обозначить имя варьируемого параметра (в данном случае – **RNG**), присвоить это имя параметру **R** в элементе схе-

мы **R3** и определить его в качестве варьируемого в блоках **VAR** и **PSWP** (рис. 8).

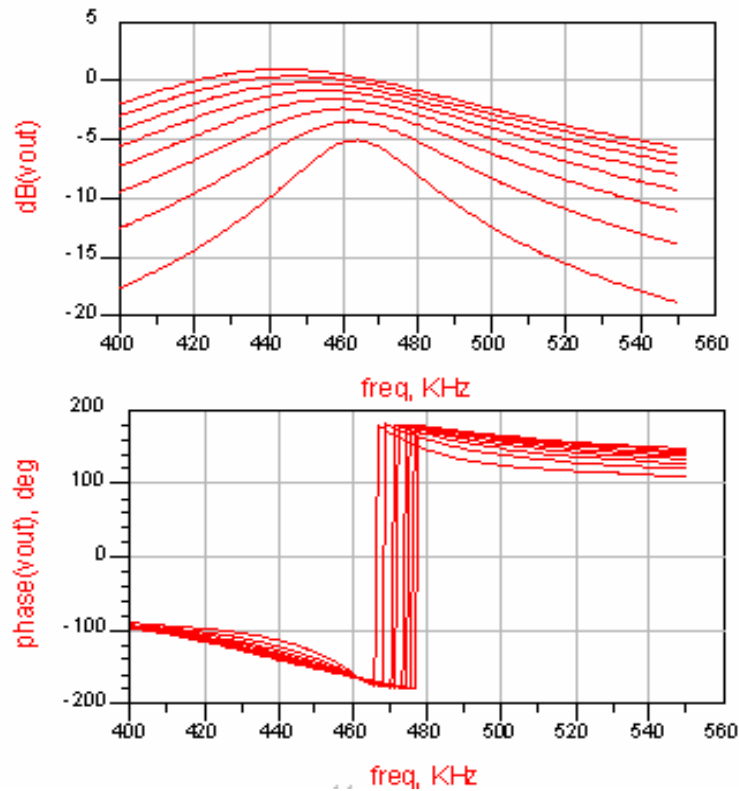


Рис.7. Семейство зависимостей АЧХ и ФЧХ от напряжения питания

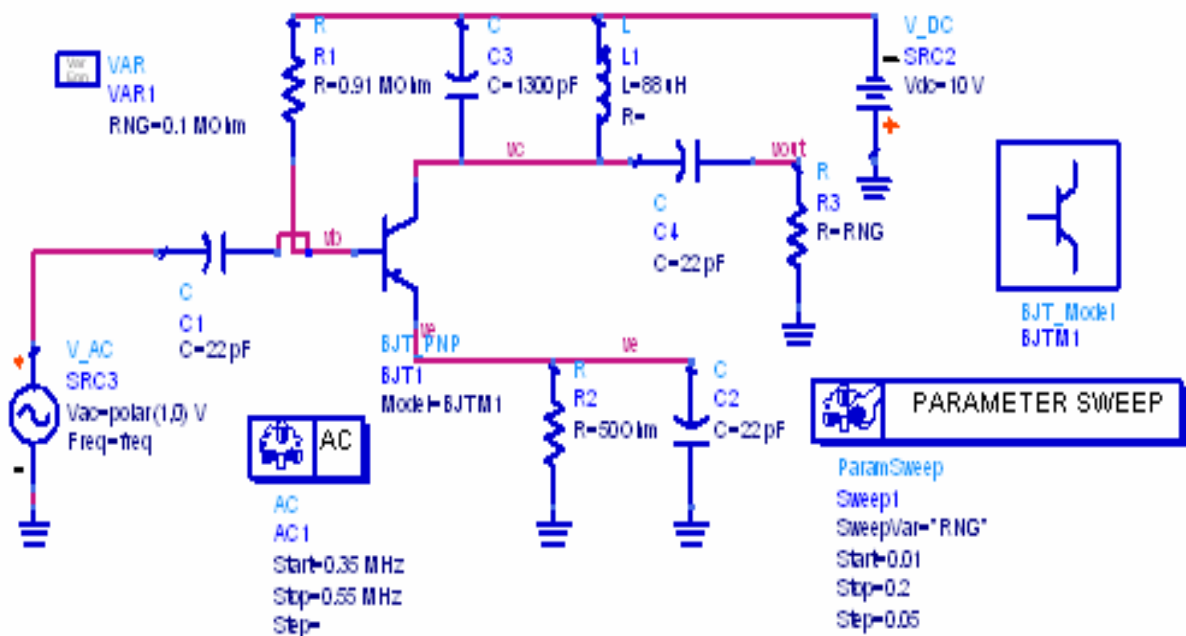


Рис. 8. Проект задания на исследование частотных характеристик в режиме изменения сопротивления нагрузки

4. Содержание отчета

- 4.1. Цель работы и задание.
- 4.2. Краткие теоретические сведения о методах анализа малосигнальных режимов и модель схемы в базисе узловых потенциалов.
- 4.3. Принципиальная схема усилителя и параметры элементов.
- 4.4. Результаты анализа и расчетов по каждому пункту задания (проекты в схемном редакторе, АЧХ и ФЧХ, расчетные таблицы и графики).
- 4.5. Выводы.

5. Контрольные вопросы и задания

- 5.1. Как формируется математическая модель схемы в частотной точке?
- 5.2. Почему анализ частотных характеристик называется малосигнальным?
- 5.3. Приведите алгоритм работы программы анализа АЧХ и ФЧХ.
- 5.4. Сформируйте математическую модель предложенной схемы в частотной точке.
- 5.5. Какие ключевые команды необходимо использовать при анализе частотных характеристик с помощью системы ADS?
- 5.6. Перечислите классы устройств, для которых нельзя пользоваться малосигнальными методами анализа и объясните, почему.
- 5.7. Приведите эквивалентную схему модели биполярного транзистора в малосигнальном режиме.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

1. Цель работы

Исследование переходного и установившегося режима работы усилителя и его спектральных характеристик с помощью системы ADS.

2. Задание

2.1. Подготовить задание для проведения расчета временной зависимости выходного напряжения при воздействии на входе трапецеидального импульса амплитудой 100 мВ. По результатам анализа построить график переходной характеристики и определить время нарастания и спада импульса на выходе устройства.

2.2. Заменить источник входного напряжения на синусоидальный с частотой, соответствующей центральной частоте рабочей полосы, полученной при выполнении предыдущей лабораторной работы, и амплитудой 100 мВ. Определить установившийся режим работы схемы на основании проверки равенства значений выходного напряжения во временных точках, отстоящих друг от друга на величину периода входного сигнала с точностью до 1 %. Построить график выходного сигнала в установившемся режиме.

2.3. Установить директивы для проведения Фурье-анализа выходного отклика в установившемся режиме на частоте входного сигнала при 10-ти учитываемых гармониках. Определить амплитудный и фазовый спектры.

2.4. Меняя амплитуду входного источника в указанном динамическом диапазоне, получить результаты спектрального анализа, на основании которых построить амплитудную и фазовую характеристику устройства в зависимости от значения входного источника. Обязательно исследовать нелинейный участок этих характеристик.

3. Пример выполнения задания

3.1. Для проведения анализа переходной характеристики при воздействии на входе трапецеидального импульса необходимо:

1) Подключить на вход время-зависимый источник напряжения, определить параметры импульса. Для этого необходимо выбрать компоненту **VPulse** из группы **Component Palette List> Source Time Domain** и определить следующие параметры импульса: время нарастания (**Rise** = 1 usec), время спада (**Fall** = 1 usec), длительность вершины (**Width** = 2 usec), период следования (**Period** = 0, что соответствует одиночному импульсу).

2) Выбрать контроллер анализа переходных процессов **Component Palette List> Simulation Transient> Tran** и задать временные параметры анализа в диалоговом окне **Time setup**: **Start time** = 0 usec (начальное время), **Stop time** = 200 usec (конечное время), **min time step** = 0.1 usec (минимальное значение шага численного интегрирования). Полученный в результате выполненной последовательности действий проект приведен на рис. 9.

3) Запустить задание на анализ командой **Simulate>Simulate**.

4) Вывести график выходного напряжения **vout** командой **Window>New Data Display**, определить время спада и нарастания визуально либо с помощью маркеров (рис. 10). При необходимости повторить анализ, изменив временные интервалы.

3.2. Для определения временной зависимости выходного напряжения при гармоническом входном сигнале необходимо выполнить следующее:

1) Заменить импульсный источник сигнала на источник сигнала с постоянной частотой, для чего нужно выбрать компоненту **Component Palette List>Sources-Freq Domain>V_1Tone** и определить ее параметры: амплитуду сигнала, равную 0.1 В ($V=polar(0.1,0)$), частоту (**Freq** = 457.3 kHz).

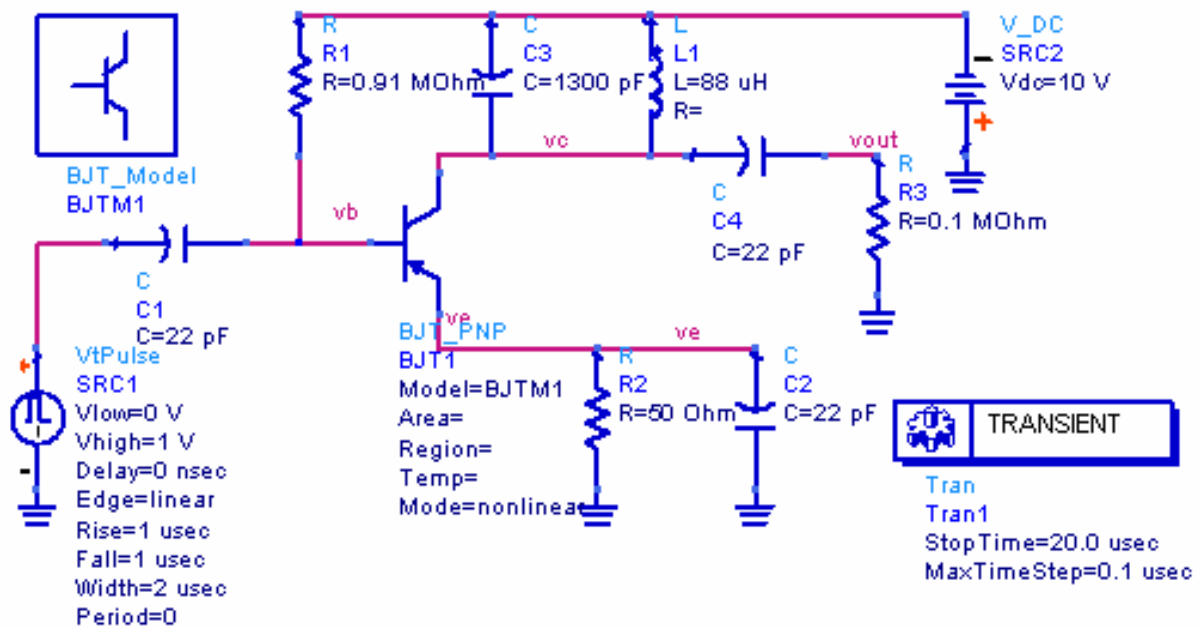


Рис.9. Проект задания для проведения анализа переходной характеристики в импульсном режиме входного воздействия

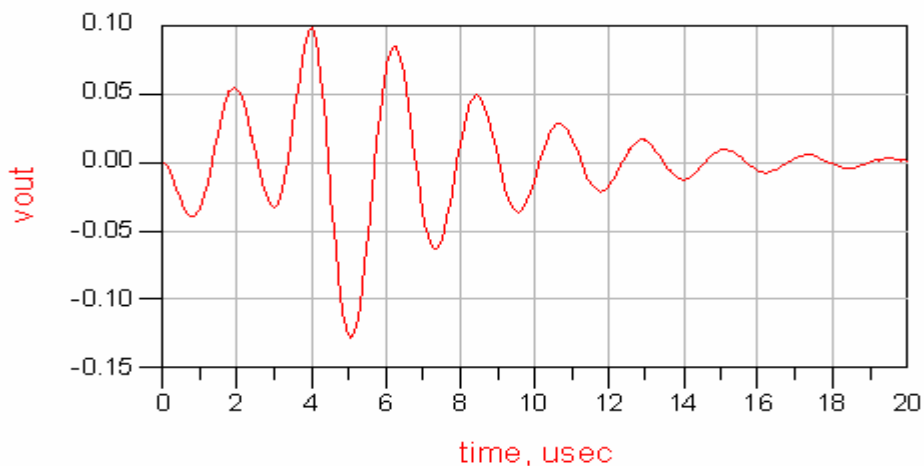


Рис.10. Отклик на импульсное входное воздействие

2) В контроллере анализа **Simulation-Transient>Tran** определить временные интервалы просмотра переходной характеристики (рис. 11).

3) Запустить задание на анализ командой **Simulate>Simulate**.

4) Вывести график выходного сигнала **vout** на экран и с помощью маркеров либо визуально определить время, начиная с которого процессы в схеме можно считать стационарными, путем сравнения значений амплитуды сигнала в различные моменты времени (рис.12).

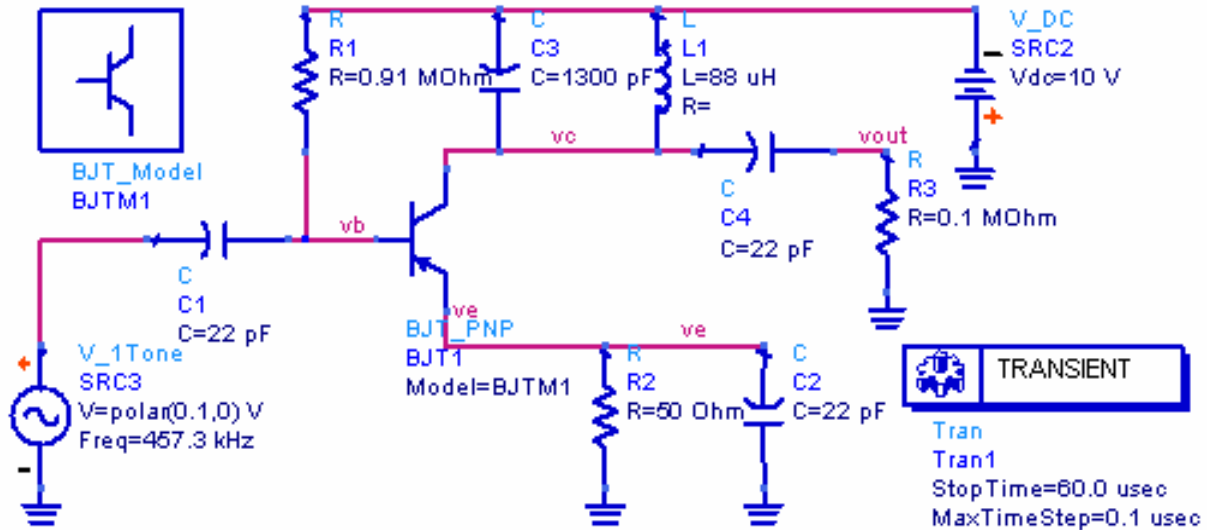


Рис.11. Проект задания для анализа переходного режима при гармоническом входном воздействии

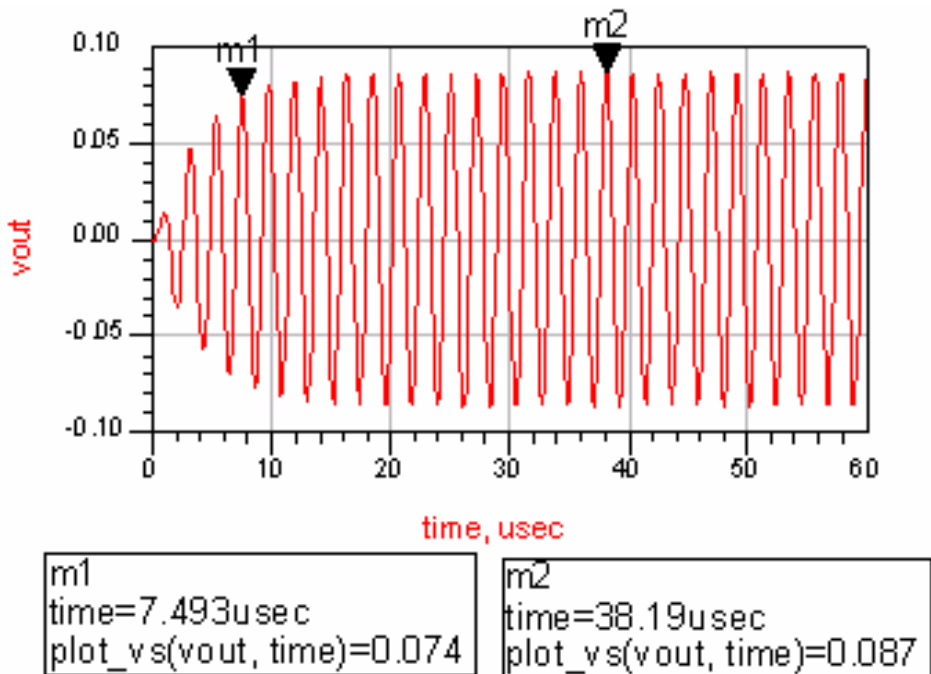


Рис.12. Определение установившегося режима работы

3.3. Для проведения спектрального анализа выходного напряжения с использованием преобразования Фурье выполнить следующие действия:

1) На основании результатов выполнения предыдущего пункта определить начальное и конечное значения интервала времени, когда можно считать, что выходной сигнал находится в установившемся режиме. Причем этот интервал должен соответствовать значению периода гармонического входного сигнала.

2) В окне просмотра выходных переходных характеристик разместить компоненту **Eqn** и определить следующее уравнение **spectr = fs(vout,,,,,4us,16us)**. Здесь **spectr** – имя спектральной характеристики (назначается пользователем), **fs**-функция, реализующая проведение Фурье-анализа, **vout**- обозначение выхода схемы, 4 us и 16 us – соответственно начальное и конечное значения интервала Фурье-анализа (в данном случае это не совсем оптимальные значения, так как режим нестационарный и интервал не соответствует периоду входной частоты, равному $(1/(457.3 \text{ kHz}))$). Можно сменить интервалы, не прибегая к повторному моделированию схемы. В данном случае более правильно было записать уравнение в виде **spectr = fs(vout,,,,,19us,(19us+1/(457.3e3)))**.

3) Вывести на экран амплитудный (опция **Magnitude**) и фазовый (опция **Phase**) спектры, обратившись к имени **spectr**, которое будет находиться в группе выходных параметров **Equations** в окне **Data Sets and Equations**. Для оценки коэффициентов подавления гармоник сигнала рекомендуется при выводе установить опцию **dB**. Маркером можно выделить интересующую гармонику выходного спектра (например, первую), точно определив ее параметры (частоту, амплитуду). Если значения частот спектра не соответствуют гармоникам входной частоты, то необходимо скорректировать начальное и конечное значения временного интервала, задаваемого в уравнении **spectr**, как указывалось выше. Максимальное количество гармоник устанавливается в блоке **Tran** значением параметра, определяющего допустимый размер шага численного интегрирования (**Min Time Step**), обратное значение которого и будет устанавливать наивысшую частоту, учитываемую при Фурье-анализе. Результаты спектрального анализа в децибеллах показаны на рис. 13.

3.4. Для вариационного анализа схемы усилителя в режиме изменения амплитуды входного сигнала и получения динамических характеристик необходимо выполнить следующее:

1) Присвоить амплитуде входного сигнала имя переменной (**V = VIC**) и определить это имя в компоненте **VAR**.

2) Выбрать компоненту **Component Palette List>Simulation-Transient>PRM SWP** и определить в ней варьируемую переменную (**VIC**) и ее параметры (начальное и конечное значения амплитуды напряжения и шаг ее изменения) аналогично ранее рассмотренным примерам анализа в статическом и малосигнальном режимах (рис. 14).

3) Запустить задание на моделирование командой **Simulate>Simulate**.

4) После завершения анализа сгенерировать окно просмотра результатов в графическом виде (команда **Window>New Data Display**). Сформировать на экране уравнение, определяющее первую гармонику спектра выходного напряжения **vout1 = spectr[1]** и уравнение, определяющее переменную **spectr** (см. п. 3.3). Причем интервал Фурье-анализа должен точно соответствовать периоду входного сигнала. Индекс в квадратных скобках означает номер гармоники спектра, которую необходимо вывести. Далее в списке выходных переменных блока **Equations** (окно **Data Sets and Equations**) найти имя **vout1** и вывести амплитудную характеристику первой гармоники выходного сигнала (опция **Magnitude**) в режиме изменения амплитуды входного сигнала (рис. 15).

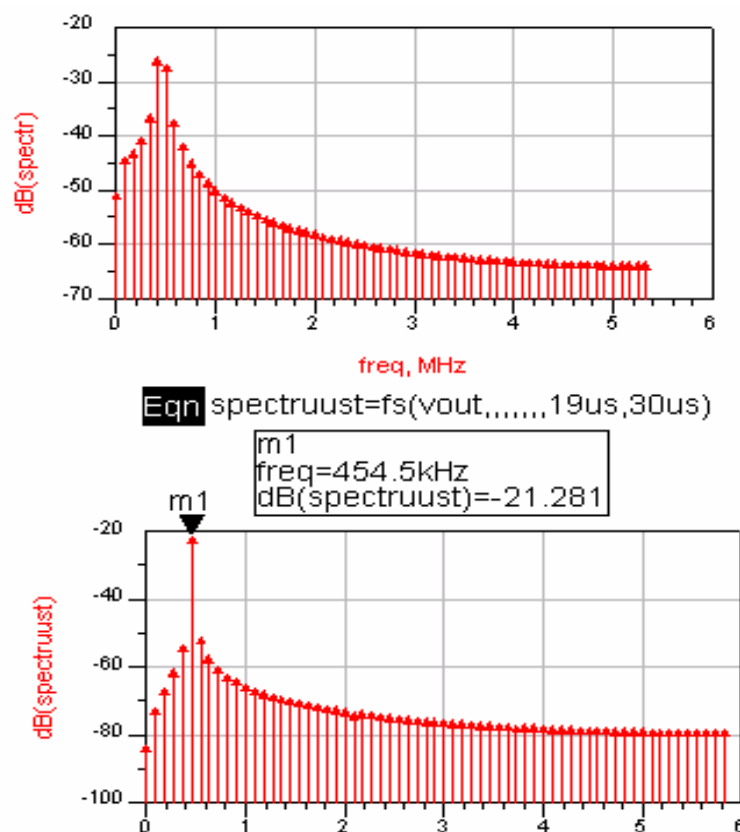


Рис.13. Результаты Фурье-анализа для различных временных интервалов

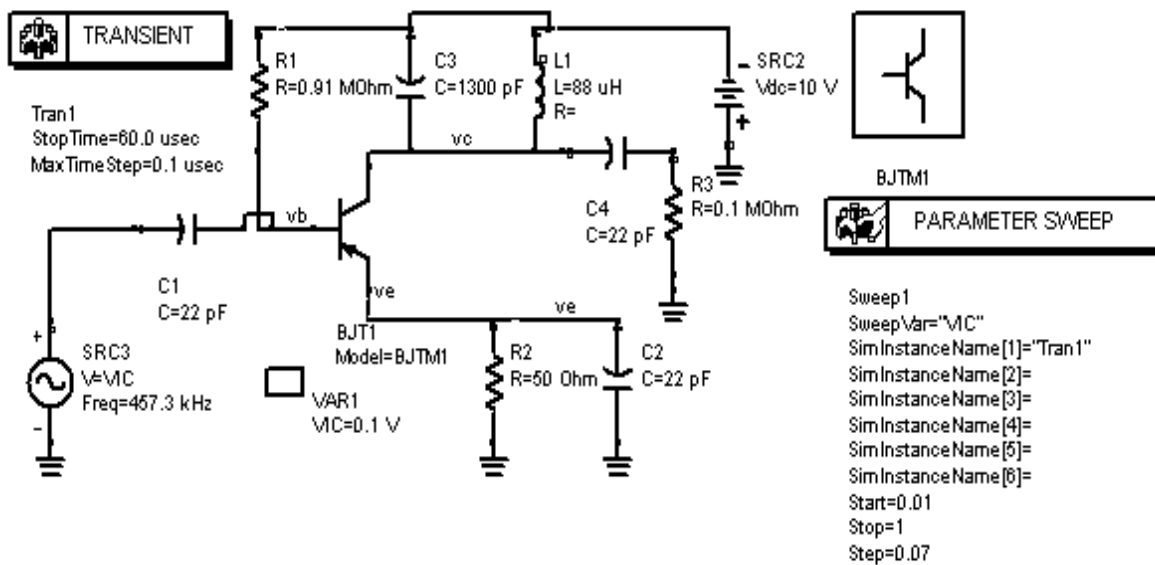


Рис.14. Проект задания для проведения анализа в режиме изменения амплитуды входного сигнала

$$\text{Eqn } \text{spectr} = \text{fs}(\text{vout}, \dots, 50\text{us}, (50\text{us} + 1/467.3\text{e}3))$$

$$\text{Eqn } \text{vout1} = \text{spectr}[1]$$

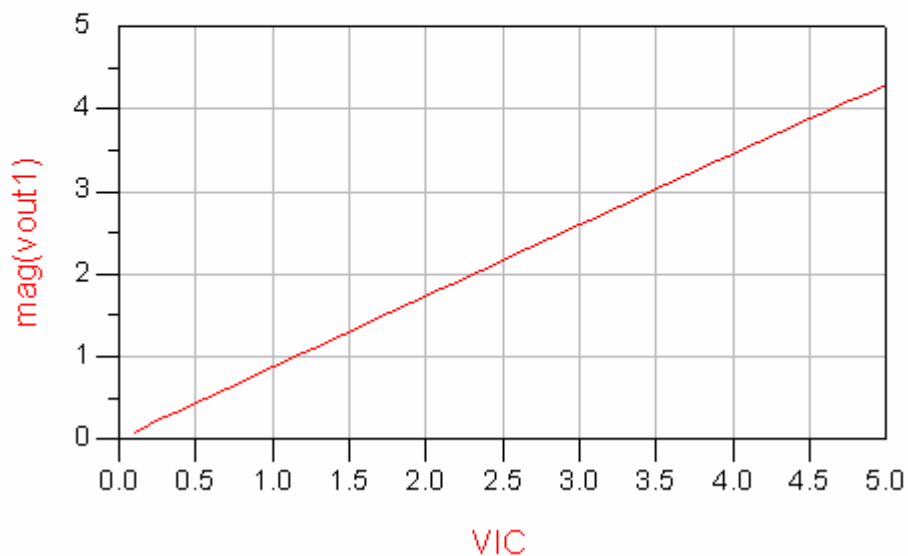


Рис. 15. Оценка динамической характеристики

4. Содержание отчета

- 4.1. Цель работы и задание.
- 4.2. Краткие сведения о методах анализа переходных процессов.
- 4.3. Варианты заданий для каждого пункта исследований в схемном редакторе.
- 4.4. Графики зависимостей, расчетные параметры, полученные на каждом этапе выполнения задания.
- 4.5. Выводы по каждому пункту исследований.

5. Контрольные вопросы и задания

- 5.1. Какие вы знаете методы численного интегрирования (ЧИ)?
- 5.2. Как моделируются реактивные компоненты на шаге ЧИ?
- 5.3. Приведите алгоритм работы программы анализа переходного режима.
- 5.4. Как моделируются активные приборы при анализе переходного режима?
- 5.5. В чем выражается числовая неустойчивость методов ЧИ и как с ней бороться?
- 5.6. Назовите методы спектрального анализа электронных устройств.
- 5.7. Приведите методику оценки установившегося режима схемы.
- 5.8. Назовите достоинства и недостатки методов ЧИ.
- 5.9. Как формируется математическая модель схемы при анализе переходного режима?
- 5.10. На основании каких соображений выбирается значение шага численного интегрирования и интервал Фурье-анализа?

ВАРИАНТЫ АНАЛИЗИРУЕМЫХ УСТРОЙСТВ И ПАРАМЕТРОВ

1. Двухкаскадный усилитель

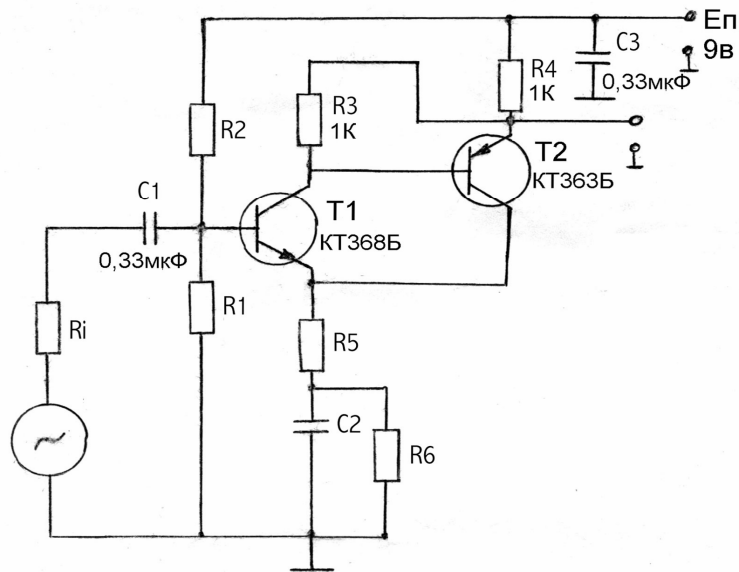


Рис. 16. Принципиальная схема двухкаскадного усилителя

Таблица 1

Параметры двухкаскадного усилителя

Номер варианта	R_i , Ом	R_1 , кОм	R_2 , кОм	R_5 , Ом	R_6 , Ом	C_2 , мкФ
1	500	2	10	47	220	0,33
2	400	1,5	15	47	270	0,5
3	500	2,2	8,2	68	200	0,33
4	550	3	10	51	220	0,47
5	700	3,3	8,2	82	200	0,1
6	510	2,2	10	47	220	0,33
7	470	4,7	15	68	130	0,25
8	500	1,5	8,2	51	200	0,5

2. Полосовой RC-фильтр

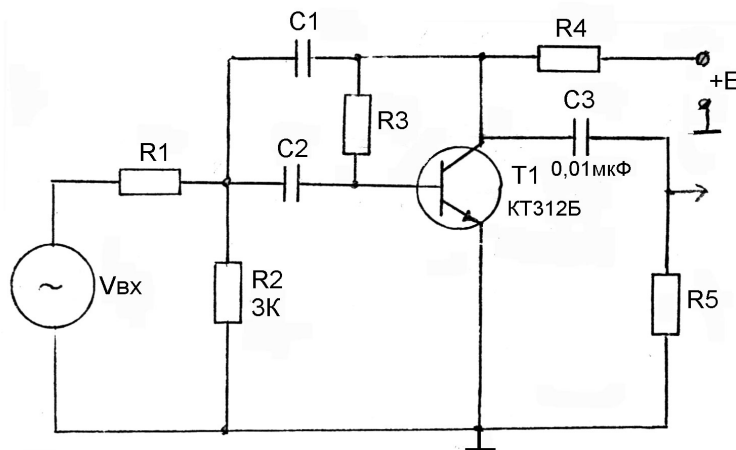


Рис. 17. Принципиальная схема полосового RC-фильтра

Таблица 2

Параметры полосового RC-фильтра

Но- мер вари- анта	$R1$, кОм	$C1$, мкФ	$C2$, мкФ	$R3$, кОм	$R4$, кОм	$R5$, кОм	E , В	Коэффициент усиления транзистора
1	30	0,01	0,015	150	3	100	9	80
2	50	0,015	0,02	100	3,3	100	10	100
3	40	0,02	0,01	120	4,7	150	8	200
4	30	0,01	0,01	200	4,3	100	6	100
5	45	0,033	0,02	300	4	200	12	80
6	50	0,015	0,047	150	5,1	130	9	50
7	27	0,1	0,05	100	7	100	9	80
8	30	0,05	0,01	200	4	130	9	80

3. Усилитель высокой частоты (УВЧ) с общей базой

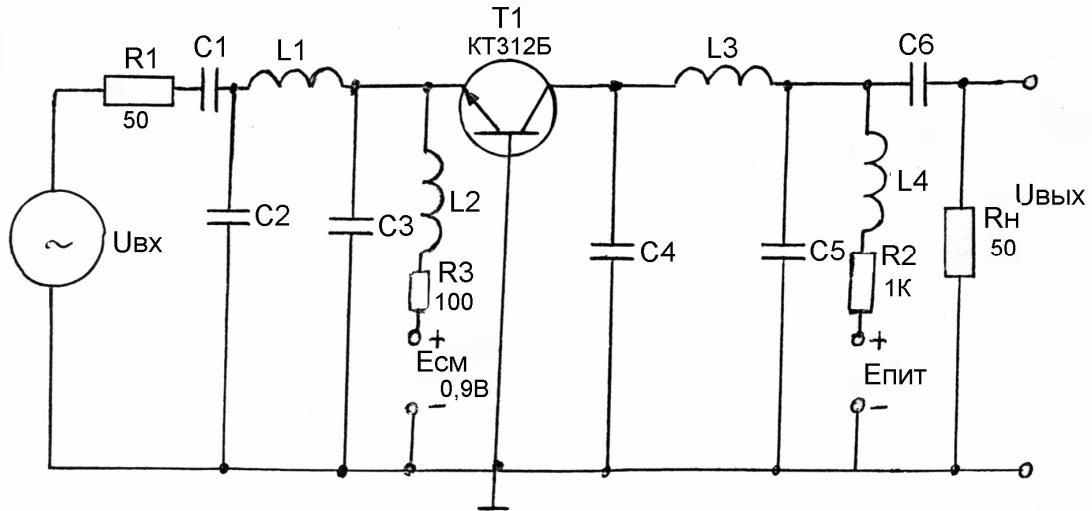


Рис. 18. Принципиальная схема УВЧ

Таблица 3

Параметры УВЧ

Номер варианта	$C1, C6,$ пФ	$L1, L3,$ мкГн	$L2, L4,$ мкГн	$C2, C4,$ пФ	$C3, C5,$ пФ	$E_{пит}, В$
1	100	0,025	1,2	10	10	30
2	50	0,05	1	20	20	25
3	100	0,05	2	15	10	30
4	150	0,015	1,2	10	10	27
5	100	0,05	2	10	10	30
6	50	0,05	1,2	12	15	25
7	100	0,033	2	15	15	32
8	150	0,05	2	10	12	27

4. Усилитель низкой частоты (УНЧ) с общим эмиттером

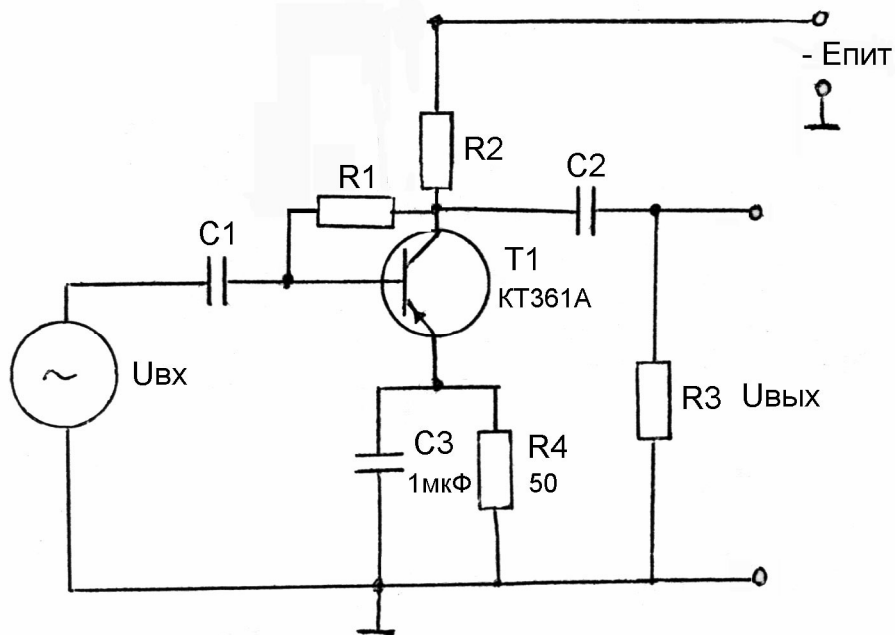


Рис. 19. Принципиальная схема УНЧ

Таблица 4

Параметры УНЧ

Номер варианта	$C1$, нФ	$C2$, нФ	$R1$, кОм	$R2$, кОм	$R3$, кОм	$E_{пит}$, В
1	22	2,2	910	10	100	100
2	30	1,5	510	15	82	9
3	22	3	820	15	50	15
4	30	1,2	680	8,2	100	10
5	47	3,3	680	10	50	12
6	68	1,5	510	12	70	12
7	30	3	680	10	70	12
8	30	1,5	680	8,2	50	9

Параметры транзисторов

№	Марка	Проводимость	Коэффициент передачи по току V_f	Емкость база-эмиттер, пФ	Емкость база-коллектор, пФ	Сопротивление базы, Ом
1	КТ312Б	NPN	55	42	14	12
2	КТ368Б	NPN	146	2	3,6	200
3	КТ363Б	PNP	60	3	6	150

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация схемотехнического проектирования / Под ред. В.Н. Ильина. – М.: Радио и связь, 1987. – 386 с.

2. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств / Под ред. О.В. Алексеева. – М.: Высш. шк., 2000. – 479 с.

3. Ланцов В.Н. Основы автоматизации схемотехнического проектирования / Владим. гос. техн. ун-т.- Владимир, 1996. – 88 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа № 1. «Исследование статического режима работы в электронных устройствах».....	4
Лабораторная работа № 2. «Исследование малосигнальных частотных характеристик электронных устройств».....	8
Лабораторная работа № 3. «Исследование переходных и спектральных характеристик в электронных устройствах».....	13
Варианты анализируемых устройств и параметров	21
Библиографический список	25

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
Методическое руководство к лабораторным работам

Составители

МЕРКУТОВ Александр Сергеевич

ПОЛУШИН Петр Алексеевич

СУШКОВА Людмила Тихоновна

Ответственный за выпуск – зав.кафедрой профессор О.Р. Никитин

Редактор Е.В. Невская

Корректор Е.В. Афанасьева

Компьютерная верстка Е.Г. Радченко

ЛР № 020275. Подписано в печать 11.04.03.

Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,70. Тираж 100 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.