

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Западный государственный заочный технический университет

Кафедра радиотехники

Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных устройств

Задания на курсовой проект
Методические указания к выполнению курсового проекта

Факультет радиоэлектроники
Направление и специальность подготовки
дипломированных специалистов:
654200 – радиотехника;
200700 – радиотехника
Направление подготовки бакалавров
552500 - радиотехника

Санкт-Петербург
2003

Утверждено редакционно-издательским советом университета

УДК 621.396.6:681.3

Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных устройств: Задания на курсовой проект; методические указания к выполнению курсового проекта. – СПб.:СЗТУ, 2003 – 27 с.

Отражены цели и задачи курсового проекта, а также порядок его выполнения. Разработаны варианты заданий и описаны основные приемы работы в системах схемотехнического моделирования Micro-Cap5 и PSPICE.

Методические указания к выполнению курсового проекта разработаны на основе Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлению подготовки дипломированных специалистов 654200 - радиотехника (специальность 200700 – радиотехника) и направлению подготовки бакалавров 552500 – радиотехника.

Рассмотрено на заседании кафедры радиотехники 9.12.2002, одобрено методической комиссией факультета радиоэлектроники 16.12.2002.

Рецензенты: кафедра радиотехники СЗТУ (заведующий кафедрой Г.И. Худяков, д-р техн. наук, проф.); А.В. Кривошейкин, д-р техн. наук, проф. С-Петербургского Государственного университета кино и телевидения.

Составитель С.И. Малинин, канд. техн. наук, доцент.

1. Общие указания

1.1. Задачи и порядок выполнения курсового проекта

Задачей курсового проекта является проведение имитационного моделирования наиболее распространенных устройств аналоговой радиоэлектронной аппаратуры с целью практического освоения современных систем автоматизации схемотехнического проектирования на базе персональных компьютеров (ПК).

Имитационное моделирование выполняется поэтапно, включая выбор математических моделей компонентов, расчет параметров моделей, работу с библиотеками систем моделирования, выбор режимов моделирования, анализ характеристик, предусмотренных в используемых системах моделирования, интерпретация результатов анализа.

В соответствии с этим, порядок выполнения курсового проекта должен быть следующим:

1) определение справочных параметров компонентов моделируемого устройства;

2) расчет параметров математических моделей компонентов по справочным данным;

3) работа в системе моделирования Micro-Cap5:

— вызвать систему с помощью специальной пиктограммы или из командной строки WINDOWS вызвать файл mc5.exe;

— реализовать с помощью схемного редактора графический ввод схемы моделируемого устройства с одновременным редактированием параметров математических моделей компонентов;

— выбрать один из возможных режимов анализа характеристик;

— отредактировать окно режимов анализа;

— провести анализ характеристик и вывести графические и табличные результаты на принтер;

4) работа в системе моделирования PSPICE:

— на входном языке системы написать текст входного файла, включающий заголовок, служебные операторы, описание схемы, операторы описания математических моделей компонентов с рассчитанными параметрами, операторы задания на анализ, операторы вывода результатов анализа;

— используя любой текстовый редактор, например встроенный редактор NORTON COMMANDER, создать входной текстовый файл с произвольным именем и расширением .cir;

— запустить исполняемую программу pspice1.exe и указать имена входного и выходного файлов;

— произвести анализ и распечатать графические и табличные результаты.

Все перечисленные действия при выполнении курсового проекта осуществляются в соответствии с настоящими методическими указаниями, а также рекомендациями, данными в [1], [2], [4], с использованием расчетных соотношений, приведенных в [3].

1.2. Варианты заданий

Варианты заданий выбираются по последним двум цифрам шифра студента из таблицы 1.

Все перечисленные варианты заданий можно разбить на десять групп, каждая из которых соответствует определенному виду моделируемого радиоэлектронного устройства. Первые пять групп заданий выполняются с помощью системы схемотехнического моделирования Micro-Cap5, а вторые пять – с помощью системы PSPICE.

1.2.1. Исследование усилителя промежуточной частоты (УПЧ)

На рис. 1 представлена схема одного каскада одноконтурного УПЧ с частичным включением контура.

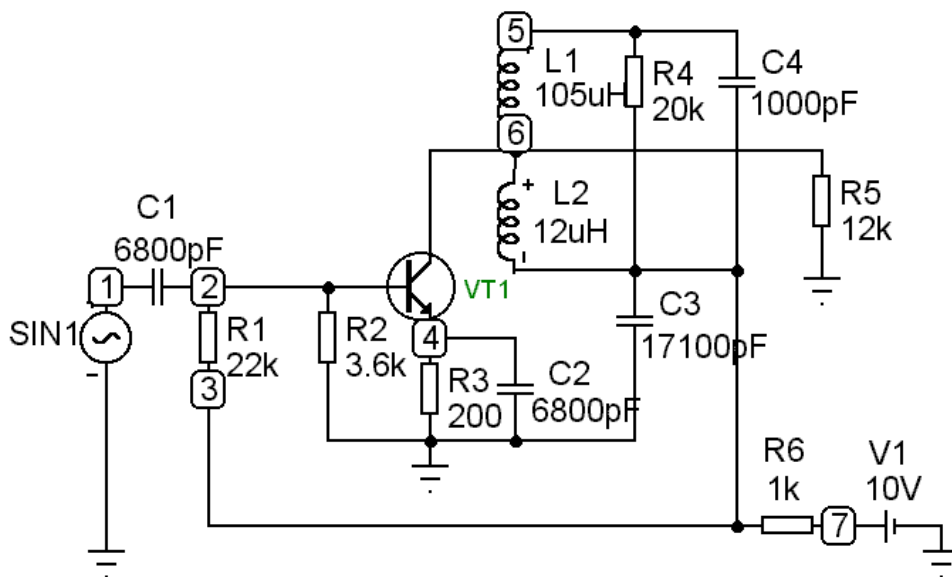


Рис. 1

Сопротивления R_1 , R_2 представляют собой делитель для подачи смещения на базу транзистора. Сопротивление R_3 совместно с емкостью C_2 образуют цепочку автосмещения в цепи эмиттера. Сопротивление R_4 играет роль шунтирующего сопротивления, вносящего затухание в колебатель-

ный контур для изменения добротности контура УПЧ. Сопротивление $R5$ является нагрузкой усилителя.

Для проведения частотного анализа ко входу устройства следует подключить источник синусоидального сигнала с амплитудой $A = 1V$ и произвольной частотой. Частотный анализ нужно проводить в диапазоне частот 400 – 500 кГц для различных значений шунтирующего сопротивления $R4 = 30 \text{ кОм}, 20 \text{ кОм}, 10 \text{ кОм}$. По полученным частотным характеристикам для каждого значения сопротивления $R4$ необходимо вычислить коэффициент добротности по формуле $Q = \frac{f_p}{\Delta f}$, где f_p – резонансная частота

усилителя, $\Delta f = f_2 - f_1$ – полоса пропускания на уровне 0,7, соответствующем – 3 дБ, и построить график зависимости $Q(R4)$.

Для проведения временного анализа ко входу следует подключить источник синусоидального сигнала и отредактировать его, установив частоту $f = f_p$ и амплитуду $A = 50 \text{ мВ}$. Войти в режим временного анализа и в окне режимов анализа установить время анализа $T_{\max} = 10T$, где $T = 1/f_p$, для получения установившегося процесса. В пункте меню ОПЦИИ (Options) установить нулевые начальные

Таблица 1.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЯ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

| № варианта | Тип схемы на рисунке | Типы активных компонентов | |
|------------|----------------------|---------------------------|-------------|
| | | из таблицы ¹ | компонент № |
| 00 | 1 | 2 | 1 |
| 01 | 6 | 2 | 11, 12 |
| 02 | 2 | 4 | 1 |
| 03 | 7 | 2 | 1 |
| 04 | 3 | 2 | 1 |
| 05 | 8 | 2 | 10 |
| 06 | 4 | 2 | 10 |
| 07 | 9 | 4 | 1 |
| 08 | 5 | - | - |
| 09 | 10 | 4 | 10 |
| 10 | 1 | 2 | 2 |
| 11 | 6 | 2 | 13, 14 |
| 12 | 2 | 4 | 2 |
| 13 | 7 | 2 | 2 |
| 14 | 3 | 2 | 2 |
| 15 | 8 | 2 | 9 |
| 16 | 4 | 2 | 9 |

¹ Таблицы приведены в методических указаниях [3].

Продолжение таблицы 1

| № варианта | Тип схемы на рисунке | Типы активных компонентов | |
|------------|----------------------|---------------------------|-------------|
| | | из таблицы | компонент № |
| 17 | 9 | 4 | 2 |
| 18 | 5 | - | - |
| 19 | 10 | 4 | 9 |
| 20 | 1 | 2 | 3 |
| 21 | 6 | 2 | 15, 16 |
| 22 | 2 | 4 | 3 |
| 23 | 7 | 2 | 3 |
| 24 | 3 | 2 | 3 |
| 25 | 8 | 2 | 6 |
| 26 | 4 | 2 | 8 |
| 27 | 9 | 4 | 3 |
| 28 | 5 | - | - |
| 29 | 10 | 4 | 8 |
| 30 | 1 | 2 | 4 |
| 31 | 6 | 2 | 11, 12 |
| 32 | 2 | 4 | 4 |
| 33 | 7 | 2 | 4 |
| 34 | 3 | 2 | 4 |
| 35 | 8 | 2 | 5 |
| 36 | 4 | 2 | 7 |
| 37 | 9 | 4 | 4 |
| 38 | 5 | - | - |
| 39 | 10 | 4 | 7 |
| 40 | 1 | 2 | 5 |
| 41 | 6 | 2 | 13, 14 |
| 42 | 2 | 4 | 5 |
| 43 | 7 | 2 | 5 |
| 44 | 3 | 2 | 5 |
| 45 | 8 | 2 | 4 |
| 46 | 4 | 2 | 6 |
| 47 | 9 | 4 | 5 |
| 48 | 5 | - | - |
| 49 | 10 | 4 | 6 |
| 50 | 1 | 2 | 6 |
| 51 | 6 | 2 | 15, 16 |
| 52 | 2 | 4 | 6 |
| 53 | 2 | 2 | 6 |
| 54 | 3 | 2 | 6 |

Продолжение таблицы 1

| № варианта | Тип схемы на рисунке | Типы активных компонентов | |
|------------|----------------------|---------------------------|-------------|
| | | из таблицы | компонент № |
| 55 | 8 | 2 | 3 |
| 56 | 4 | 2 | 5 |
| 57 | 9 | 4 | 6 |
| 58 | 5 | - | - |
| 59 | 10 | 4 | 5 |
| 60 | 1 | 2 | 7 |
| 61 | 6 | 2 | 11, 12 |
| 62 | 2 | 4 | 7 |
| 63 | 7 | 2 | 9 |
| 64 | 3 | 2 | 7 |
| 65 | 8 | 2 | 2 |
| 66 | 4 | 2 | 4 |
| 67 | 9 | 4 | 7 |
| 68 | 5 | - | - |
| 69 | 10 | 4 | 1 |
| 70 | 1 | 2 | 8 |
| 71 | 6 | 2 | 13, 14 |
| 72 | 2 | 4 | 8 |
| 73 | 7 | 2 | 1 |
| 74 | 9 | 2 | 3 |
| 75 | 8 | 2 | 1 |
| 76 | 4 | 2 | 3 |
| 77 | 9 | 4 | 8 |
| 78 | 5 | - | - |
| 79 | 10 | 4 | 4 |
| 80 | 1 | 2 | 9 |
| 81 | 6 | 2 | 15, 6 |
| 82 | 2 | 4 | 9 |
| 83 | 7 | 2 | 2 |
| 84 | 3 | 2 | 9 |
| 85 | 8 | 2 | 10 |
| 86 | 4 | 2 | 2 |
| 87 | 9 | 4 | 9 |
| 88 | 5 | - | - |
| 89 | 10 | 4 | 3 |
| 90 | 1 | 2 | 10 |
| 91 | 6 | 2 | 11, 12 |
| 92 | 2 | 4 | 10 |

| № варианта | Тип схемы на рисунке | Типы активных компонентов | |
|------------|----------------------|---------------------------|-------------|
| | | из таблицы | компонент № |
| 93 | 7 | 2 | 3 |
| 94 | 3 | 2 | 10 |
| 95 | 8 | 2 | 9 |
| 96 | 4 | 2 | 1 |
| 97 | 9 | 4 | 10 |
| 98 | 5 | - | - |
| 99 | 10 | 4 | 2 |

условия (Zero) и включить опцию расчета рабочей точки (Operation point). После отображения на экране графика временного процесса и, убедившись в том, что процесс установился, следует, не выходя из режима Transient, установить в окне режимов анализа $T_{max} = 1T$ и в опциях (Options) вместо пункта Zero пункт Leaves, при котором сохраняются значения узловых напряжений и токов индуктивностей, оставшиеся после предыдущего цикла анализа, а также отменить опцию расчета рабочей точки (Operation point). Для проведения анализа Фурье в графе YExpression строки вывода результатов анализа записать функцию HARM(V(6)), а для расчета коэффициента гармоник в той же графе соответствующей строки записать функцию THD(HARM(V(6))). При этом в графе XExpression соответствующих строк указать имя переменной F . Провести временной анализ с выводом графического изображения на принтер. В таблице результатов анализа (F5) просмотреть спектр выходного сигнала и определить коэффициент гармоник.

1.2.2. Исследование амплитудного детектора (AM – детектора)

Схема AM – детектора представлена на рис. 2.

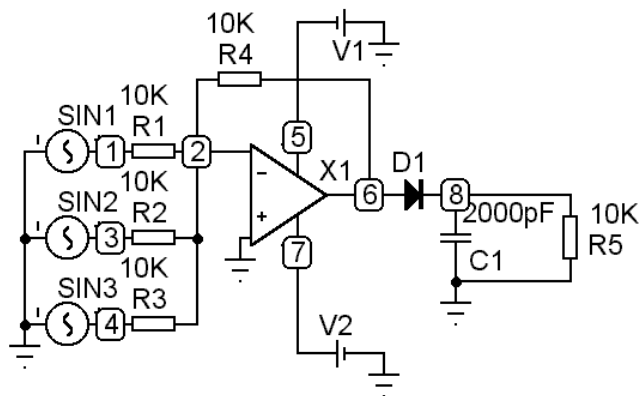


Рис.2

Она состоит из сумматора, выполненного на ОУ, на который подаются несущая частота $f_{\text{нес}} = 465$ кГц и две боковые частоты $f_{\text{н}} = 455$ кГц и $f_{\text{в}} = 475$ кГц для создания на выходе сумматора АМ – сигнала, и непосредственно детектора для выделения низкочастотной огибающей сигнала с частотой $f_{\text{огиб}} = 10$ кГц.

Для проведения временного анализа ко входу сумматора необходимо подключить три источника синусоидальных сигналов и отредактировать их, установив для первого источника частоту $f_{\text{нес}} = 465$ кГц, амплитуду $A = 2$ В, для второго – частоту $f_{\text{н}} = 455$ кГц, амплитуду $A = 0,6$ В и для третьего – частоту $f_{\text{в}} = 475$ кГц, амплитуду $A = 0,6$ В. Войти в режим временного анализа (Transient) и в окне режимов анализа установить время анализа $T_{\text{max}} = 2/f_{\text{огиб}}$. В пункте меню ОПЦИИ (Options) установить нулевые начальные условия и включить опцию расчета рабочей точки (Operation point). После отображения на экране графика временного анализа следует, не выходя из режима Transient, установить в окне режимов анализа $T_{\text{max}} = 1/f_{\text{огиб}}$ и в опциях (Options) вместо режима Zero – режим Leaves, при котором сохраняются значения узловых напряжений, оставшиеся после предыдущего цикла анализа, а также отменить опцию расчета рабочей точки (Operation point). Для проведения анализа Фурье в графе YExpression соответствующей строки вывода результатов анализа записать функцию HARM (V(8)), а для расчета коэффициента гармоник в той же графе соответствующей строки записать функцию THD (HARM(V(8))). При этом в графе XExpression соответствующих строк указать имя переменной F . Провести временной анализ с выводом графического изображения на принтер. Рассчитать коэффициент передачи детектора, равный отношению амплитуды низкочастотного сигнала на выходе детектора, к амплитуде модулирующего сигнала на его входе. В таблице результатов анализа (F5) просмотреть спектр выходного сигнала и определить коэффициент гармоник.

1.2.3. Исследование генератора синусоидального сигнала низкой частоты

Схема генератора синусоидального сигнала низкой частоты представлена на рис. 3. Принцип его работы основан на поочередном заряде и разряде емкостей, подключенных к коллектору NPN транзистора VT1, играющего роль управляющего сопротивления. При подаче напряжения питания в первый момент транзистор VT1 закрыт, и емкости заряжаются от источника питания, при этом возрастает напряжение на базе транзистора VT1. При достижении определенного напряжения на базе транзистор VT1 открывается, и емкости разряжаются через него до момента закрытия транзистора.

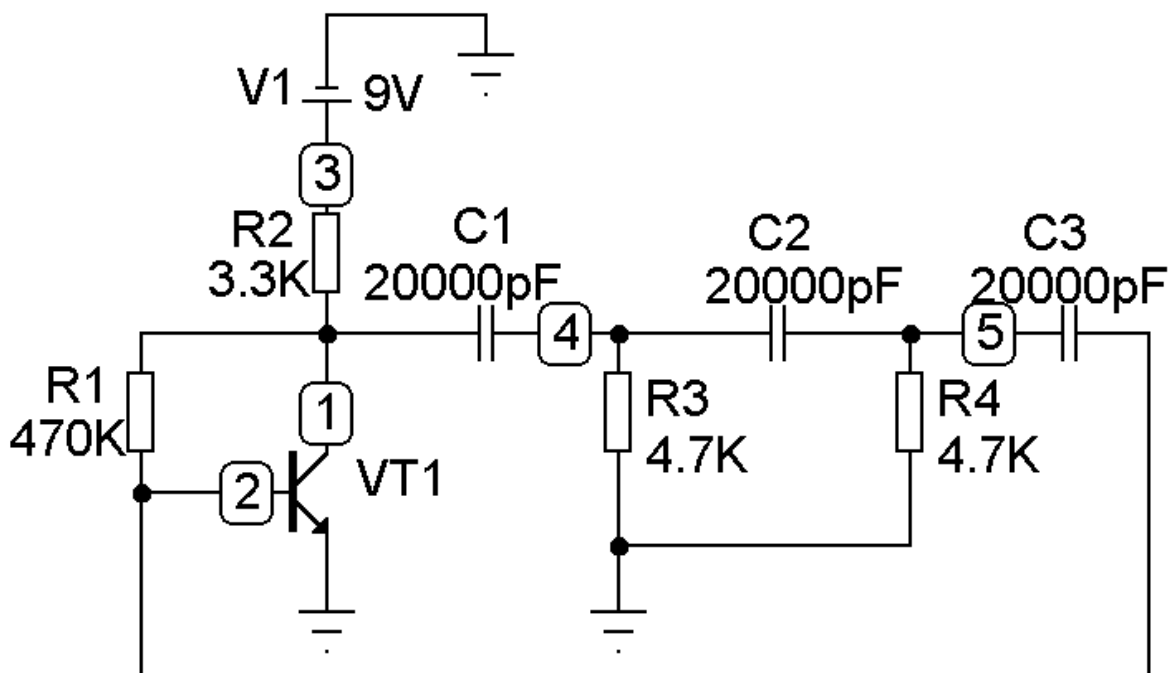


Рис. 3

В режиме временного анализа (Transient) установить в окне режимов анализа $T_{\max} = 0,01$ с. В опциях (Options) установить режим Leaves, при котором сохраняются значения узловых напряжений, оставшиеся после предыдущего цикла анализа, а также отменить опцию расчета рабочей точки (Operation point). Провести временной анализ и определить частоту установившегося синусоидального колебания f_c . Не выходя из режима Transient, установить в окне режимов анализа $T_{\max} = 1/f_c$. Для проведения анализа Фурье в графе YExpression соответствующей строки вывода результатов анализа записать функцию HARM(V(1)), а для расчета коэффициента гармоник в той же графе соответствующей строки записать функцию THD(HARM(V(1))). При этом в графе XExpression соответствующих строк указать имя переменной F . Провести временной анализ с выводом графического изображения на принтер. В таблице результатов анализа (F5) просмотреть спектр выходного сигнала и определить коэффициент гармоник.

Уменьшить емкости генератора в 2 раза и повторить исследования.

1.2.4. Исследование генератора пилообразного напряжения

Схема генератора пилообразного напряжения представлена на рис. 4. Принцип его работы основан на быстром заряде емкости $C1$ через резисторы $R1$, $R2$ и медленном ее разряде через резистор $R1$ и последовательно включенные транзисторы $VT1, VT2$ разной проводимости, играющие роль управляемых сопротивлений. Линейность пилы обеспечивается емкостью

$C2$, управляющей открыванием транзистора $VT2$. В режиме временного анализа (Transient) установить в окне режимов анализа $T_{max} = 2.5E - 5$ с.

В опциях (Options) установить режим Leaves, при котором сохраняются значения узловых напряжений, оставшиеся после предыдущего цикла анализа, а также отменить поиск рабочей точки (Operation point). Провести временной анализ и определить период следования пилообразных импульсов. Вывести результаты анализа на принтер.

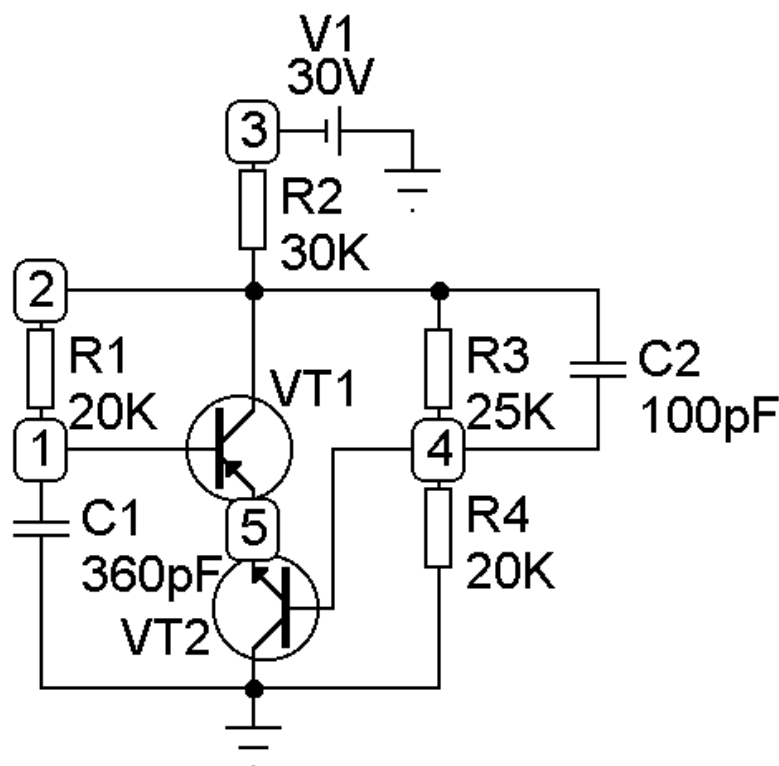


Рис. 4

Используя режим *Cursor mode* ($F8$), определить длительность нарастания фронта и спада линейного участка пилообразного импульса.

Уменьшить емкости $C1$ и $C2$ генератора в 2 раза и повторить исследование.

Примечание.

При включении режима *Cursor mode* в начале координат появляются изображения двух перекрестий, помещаемых в определенные точки графиков нажатием левой и правой кнопок мыши для проведения различных измерений. Курсоры привязываются к графикам, имена которых также выбираются кнопками мыши, выбранные имена подчеркиваются. Снизу от каждого окна графиков располагается таблица, число строк которой равно числу построенных графиков плюс одна строка, в которой разме-

щаются значения независимой переменной, откладываемой по оси X. В колонках таблицы располагается информация:

- имя переменной, выведенной на график;
- *Left* – значение переменной, помеченной левым курсором;
- *Right* – значение переменной, помеченной правым курсором;
- *Delta* – разность значений координат курсора;
- *Slope* – тангенс угла наклона прямой, соединяющей два курсора.

1.2.5. Исследование режекторного фильтра

Схема режекторного фильтра представлена на рис. 5.

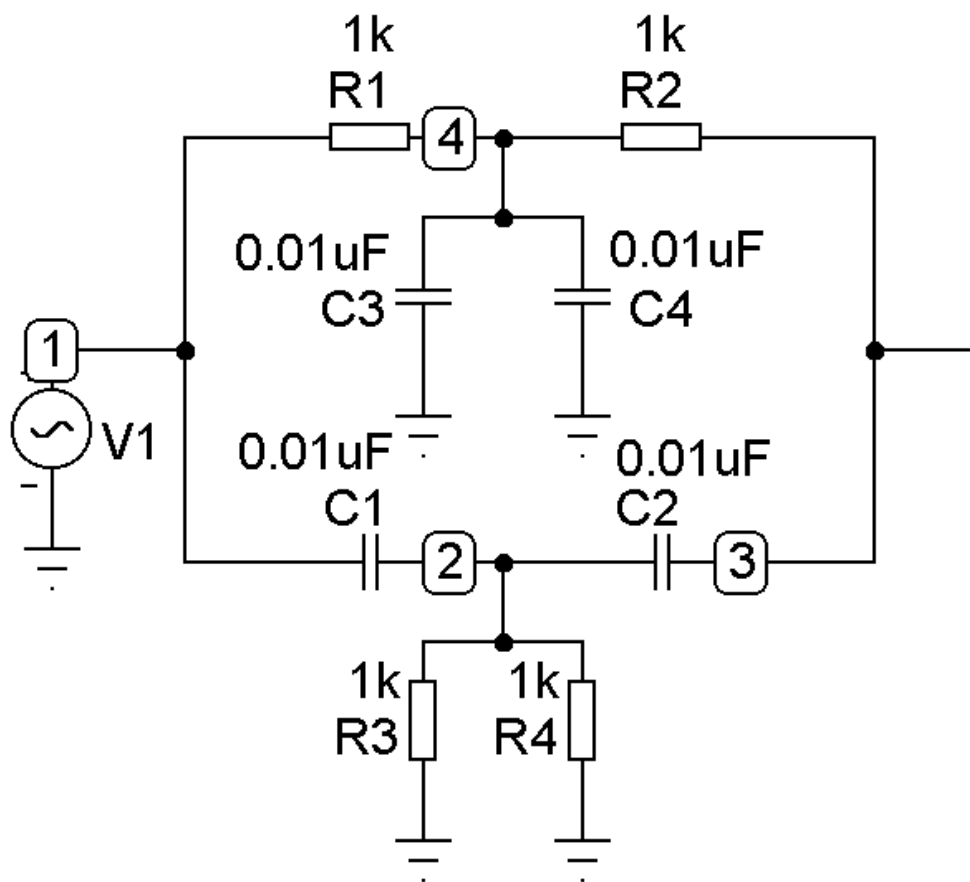


Рис. 5

Он представляет собой пассивный RC – фильтр – пробку, настроенный на определенную частоту и очень чувствительный к изменению частоты. Принцип его действия основан на равенстве амплитуд и сдвиге фаз на 180° гармонического сигнала определенной частоты в верхней и нижней ветвях фильтра.

Частотный анализ нужно проводить при подключении ко входу фильтра источника синусоидального сигнала с амплитудой $A = 1$ В и произвольной частотой в диапазоне частот 15 – 17 кГц. При этом выбрать

диапазон изменения усиления от 0 до – 120 дБ. Вывести график частотных характеристик на принтер. Используя режим *Cursor mode (F8)* (см. примечание к п. 1.2.4) определить частоту $f_{\text{реж}}$ максимального подавления сигнала.

Разорвать выходную цепь фильтра и нагрузить верхнюю и нижнюю ветви фильтра каждую на сопротивление 1 МОм, а ко входу подключить источник синусоидальных сигналов. Отредактировать выбранный источник, установив частоту $f = f_{\text{реж}}$ и амплитуду $A = 0,5$ В. Провести временной анализ и сравнить сигналы верхней и нижней ветвей фильтра. Изменить частоту источника на ± 1 кГц и повторить временной анализ. Вывести графики на принтер и объяснить полученные результаты. Восстановить первоначальную частоту источника $f = f_{\text{реж}}$.

Восстановить разорванную выходную цепь и подключить последовательно с первым второй источник синусоидальных сигналов с частотой, в 10 раз меньшей $f_{\text{реж}}$. Провести временной анализ, установив в окне режимов анализа $T_{\text{max}} = \frac{10}{f_{\text{реж}}}$. Сравнить сигналы на входе и выходе фильтра и

вывести их на принтер. Для проведения анализа Фурье в графе *YExpression* соответствующей строки вывода результатов анализа записать функцию $\text{HARM}(V(3))$, а для расчета коэффициента гармоник в той же графе соответствующей строки записать функцию $\text{THD}(\text{HARM}(V(3)))$. При этом в графе *XExpression* соответствующих строк указать имя переменной F . Провести временной анализ с выводом графического изображения на принтер. В таблице результатов анализа ($F5$) просмотреть спектр выходного сигнала и определить коэффициент гармоник.

Увеличить все емкости фильтра в два раза и повторить исследования.

Следующие пять групп заданий выполняются с помощью системы схемотехнического моделирования PSPICE.

1.2.6. Исследование двухкаскадного усилителя низкой частоты с отрицательной обратной связью

Схема двухкаскадного усилителя представлена на рис. 6. Первый каскад собран на NPN транзисторе Q1, нагрузкой которого является резистор R3. Вторым каскадом собран на PNP транзисторе Q2. Его нагрузкой является последовательное соединение резисторов R4, R5, которые, в свою очередь, образуют цепь отрицательной обратной связи (ООС), заводимой в эмиттер первого каскада. Делитель R1, R2 создает смещение на базе первого транзистора Q1. Нагрузкой усилителя является сопротивление R6.

В системе PSPICE все виды анализа можно проводить одновременно, для этого во входном файле нужно описать универсальный источник и включить в него источники, необходимые для проведения соответствующего

шего вида анализа. Для проведения частотного анализа нужно включить в универсальный источник AC 1V, а для временного анализа – SIN (0, 05, 1000), причем размерности V и HZ указывать не обязательно.

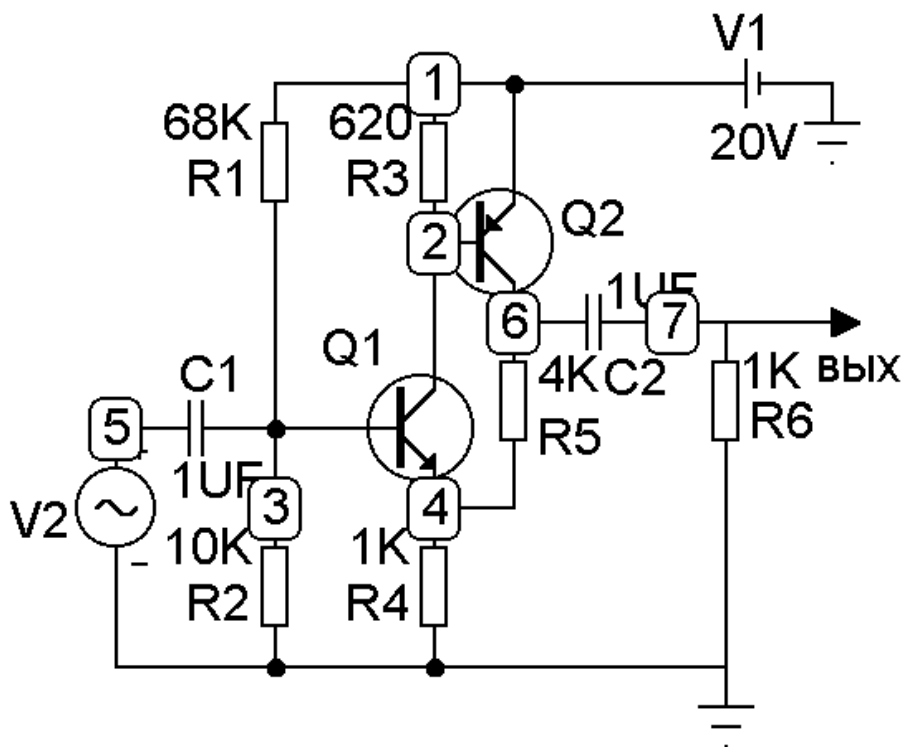


Рис. 6

В работе нужно провести частотный, временной анализы и анализ Фурье для разных значений коэффициента передачи цепи ООС $b = \frac{R4}{R4 + R5}$, при изменении сопротивления $R5$ от 3 до 15 кОм (не менее пяти значений). Построить графики зависимости полосы пропускания ΔF на уровне 0,7 (-3 дБ), коэффициента усиления K и коэффициента гармоник K_g в зависимости от коэффициента передачи цепи ООС – b .

Вывести на принтер графики частотных и временных характеристик только для номинального значения $R5 = 4 \text{ кОм}$.

1.2.7. Исследование усилителя высокой частоты

Схема усилителя высокой частоты представлена на рис. 7. Он состоит из двух каскадов усиления, собранных на NPN транзисторах Q1 и Q2. Расширение полосы в область высоких частот обеспечивается за счет введения в коллекторы транзисторов корректирующих цепочек комбинированной обратной связи, включающей в себя и положительную обратную связь по высокой частоте.

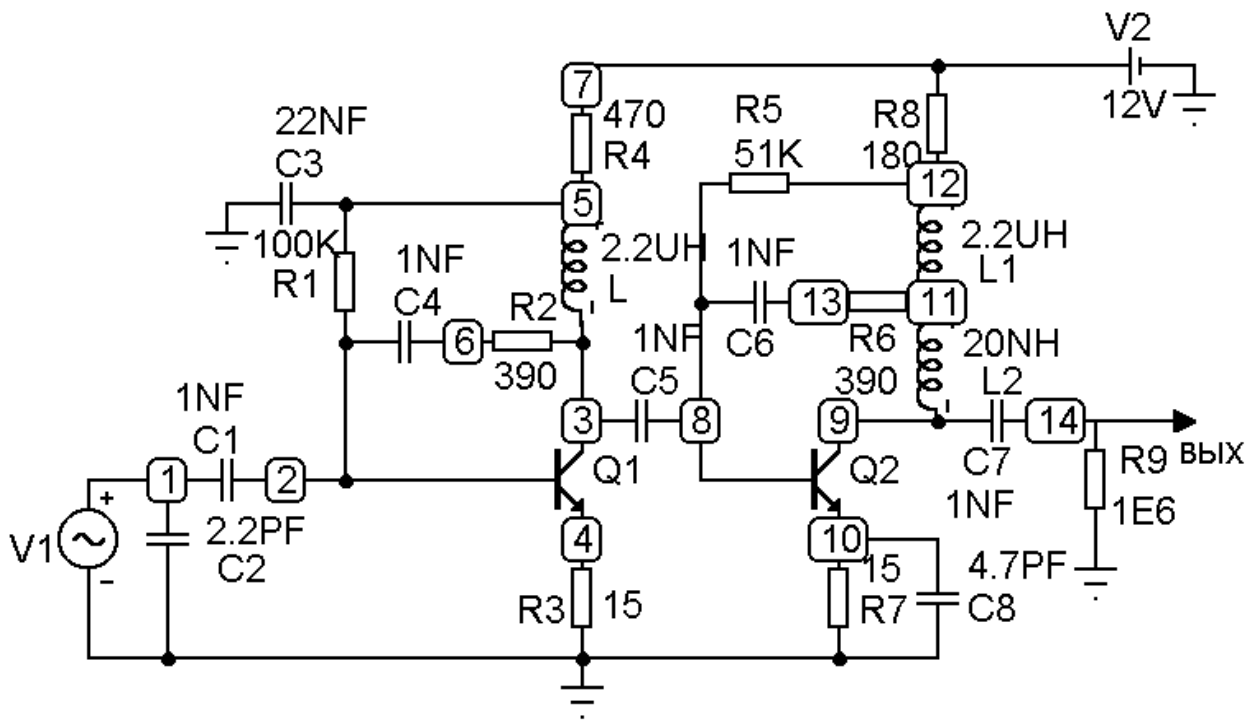


Рис. 7

В системе PSPICE все виды анализа можно проводить одновременно (см. п. 1.2.6), однако вначале следует провести только частотный анализ и определить полосу пропускания усилителя, выбрав диапазон частот анализа ($1 - 10^9$) Гц. После этого включить в универсальный источник синусоидальный источник с частотой, входящей в полосу пропускания усилителя, например 10 МГц и амплитудой 0,05 В, и провести временной анализ и анализ Фурье. Вывести на принтер результаты анализа и определить коэффициент усиления усилителя и коэффициент гармоник.

1.2.8. Исследование генератора синусоидальных колебаний высокой частоты

Схема автогенератора гармонического сигнала высокой частоты представлена на рис. 8. Частота генератора определяется колебательным контуром, входящим в цепь коллектора транзистора Q1:

$$f_{\Gamma} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{\text{к}}C_{\text{к}}}}$$

Положительная обратная связь осуществляется емкостью C1 и цепочкой автосмещения R1, C2. Напряжение смещения на базе транзистора Q1 обеспечивается делителем R2, R3. Емкость C3 шунтирует сопротивление R3 по высокой частоте.

Вначале следует провести расчет режима автогенератора по постоянному току. Для этого нужно исключить все операторы задания на анализ

(с помощью набора в первой позиции соответствующей строки знака “*”), так как анализ по постоянному току проводится во всех случаях.

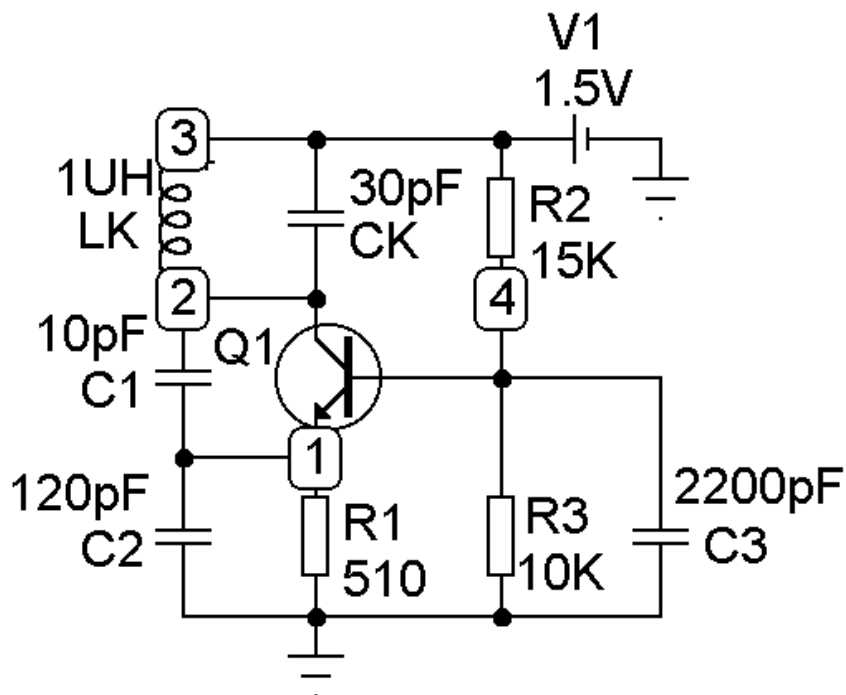


Рис. 8

В результате расчета в выходном файле создается карта узловых потенциалов $V(1)=$, $V(2)=$, $V(3)=$, $V(4)=$. После этого в описании емкостей и индуктивностей с помощью параметра $IC=$ задаются значения напряжений на конденсаторах и токи через индуктивности, используемые в качестве начальных значений при расчете переходных процессов:

| | | | | |
|----|---|---|--------|---------|
| CK | 3 | 2 | 30PF | IC=0.1V |
| C2 | 1 | 0 | 120PF | IC= |
| C3 | 4 | 0 | 2200PF | IC= |
| LK | 3 | 2 | 1UH | IC=1MA. |

Следует обратить внимание, что здесь заданы ненулевые значения начальных условий на элементах колебательного контура LK, CK, чтобы произошло самовозбуждение автогенератора.

Переходные процессы рассчитываются по директиве .TRAN с указанием опции UIC, отменяющей расчет режима по постоянному току перед расчетом переходных процессов: .TRAN 10N 500N UIC.

Вывести на принтер результаты анализа и определить частоту генератора и коэффициент гармоник. Сравнить частоту генератора с рассчитанной по формуле:

$$f_{\Gamma} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{\text{к}}C_{\text{к}}}}$$

Увеличить емкость СК в четыре раза и повторить исследование.

1.2.9. Исследование активного АРС полосового фильтра

Схема фильтра, изображенная на рис. 9, представляет собой полосовое звено второго порядка, реализованное на операционном усилителе с большим коэффициентом усиления без обратной связи.

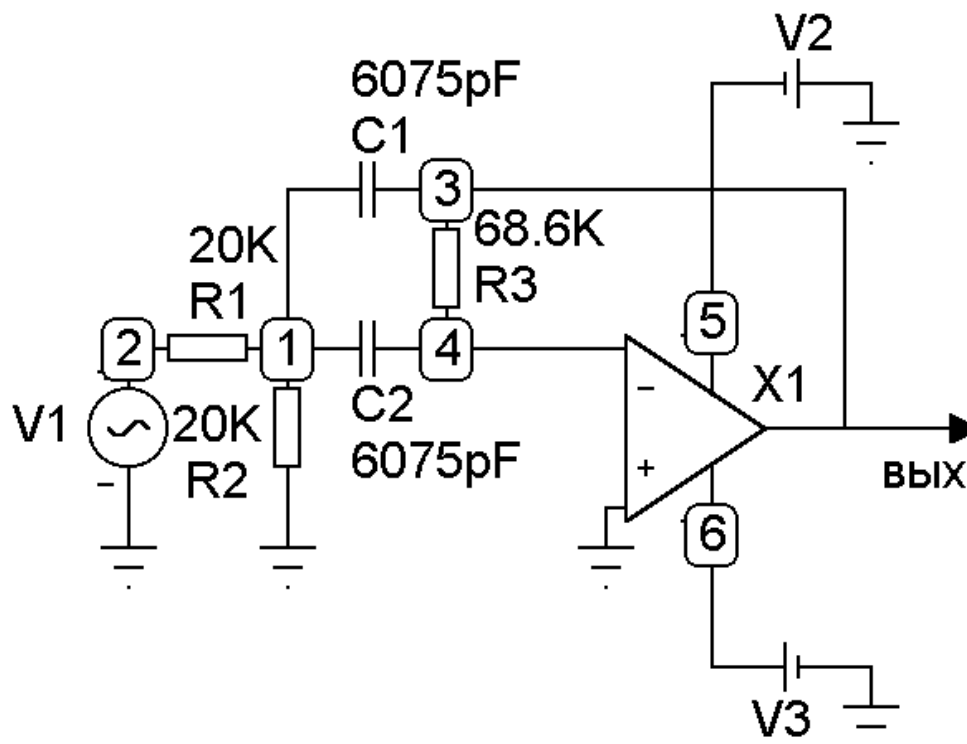


Рис. 9

Частотный анализ нужно провести в диапазоне частот от 100 Гц до 10 кГц. Вывести результаты анализа на принтер и определить частоту максимального усиления f_m , а также полосу пропускания фильтра при неравномерности затухания $\Delta a = 1$ дБ.

Для проведения временного анализа ко входу фильтра следует подключить последовательно два универсальных источника, включающих источники синусоидального напряжения, первый из которых имеет частоту $f = f_m$, а второй $f = 10$ кГц и равные амплитуды $A = 0,5$ В. Вывести на принтер графики сигналов на входе фильтра и на его выходе и определить коэффициент гармоник.

Уменьшить емкости C1 и C2 в два раза и повторить исследования.

1.2.10. Исследование активного АРС фильтра верхних частот

Схема фильтра, изображенная на рис. 10, представляет собой звено второго порядка, реализованное на операционном усилителе с конечным усилением, которое достигается введением отрицательной обратной связи.

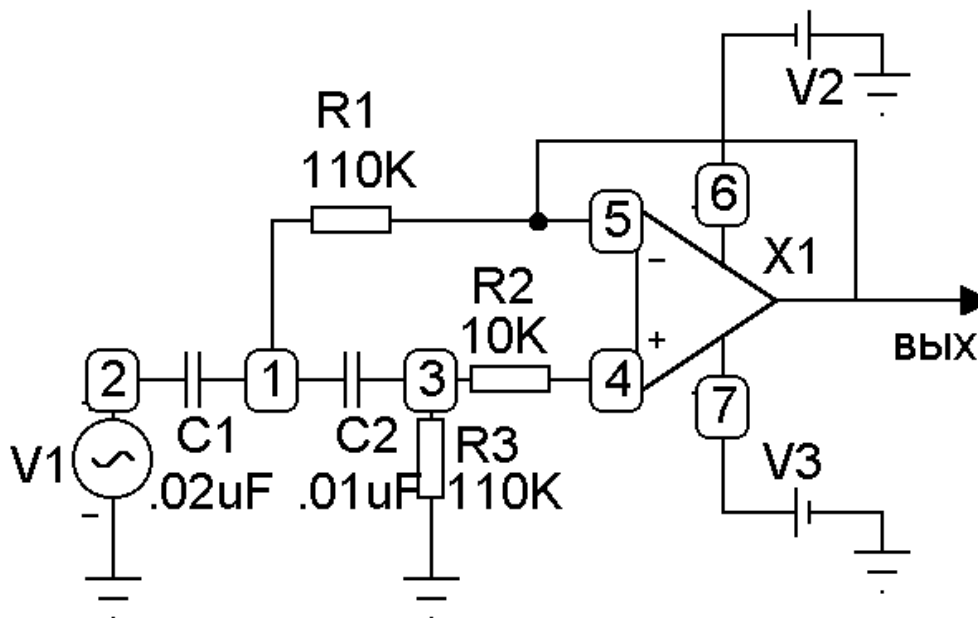


Рис. 10

Частотный анализ следует провести в диапазоне частот $(1 - 10^7)$ Гц. Вывести результаты анализа на принтер и определить полосу пропускания фильтра при неравномерности затухания звена $\Delta a = 1$ дБ.

Для проведения временного анализа ко входу фильтра следует подключить последовательно два универсальных источника, включающих источники синусоидального напряжения, первый из которых имеет частоту 20 Гц, а второй – 200 Гц и равные амплитуды $A = 0,5$ В. вывести на принтер графики сигналов на входе фильтра и на его выходе и определить коэффициент гармоник.

Уменьшить емкости $C1$ и $C2$ в два раза и повторить исследования.

1.3. Оформление курсового проекта

Курсовой проект должен содержать пояснительную записку с необходимым иллюстративным материалом. Пояснительная записка оформляется на отдельных листах стандартного формата 210x298 мм. Текст помещается только на одной стороне листа с полями шириной 30 – 35 мм для замечаний преподавателя. Все листы следует пронумеровать и сброшюровать. На титульном листе надо указать наименование У КП, номер группы,

фамилию и инициалы студента, а также его шифр. Общий объем пояснительной записки – не более 10 –15 страниц рукописного текста. Пояснительная записка должна содержать расчет параметров моделей и пояснения к ним, схему моделируемого устройства, порядок моделирования, включая описание схемы на языке системы, работу с библиотекой элементов, реализацию процесса анализа, вывод результатов.

Необходимо дать ссылки на литературные источники, из которых заимствованы расчетные соотношения, справочные данные, методики работы с системами моделирования.

Каждый раздел пояснительной записки должен иметь заголовки и может быть разбит на ряд пунктов с подзаголовками.

Результаты моделирования, выведенные на принтер в виде таблиц, графиков, рисунков, помещаются в пояснительную записку, в которой должен быть раздел с анализом результатов и выводами. В конце пояснительной записки следует привести список использованной литературы и оглавление.

При аналитических расчетах следует привести полную расчетную формулу в буквенном выражении, а затем в числовом – результат вычислений. Подставляя в формулы числовые величины, следует обратить внимание на единицы измерений, в которых они выражены. Вспомогательные арифметические действия опускаются.

При оформлении проекта следует руководствоваться РД40.РСФСР-050-87 «Проекты (работы) дипломные и курсовые. Правила оформления».

2. Порядок работы в системе Micro-Cap 5

2.1. Расчет параметров математических моделей компонентов

В соответствии с выбранным вариантом задания на курсовой проект, пользуясь [3], необходимо определить справочные параметры пассивных и активных компонентов, используемых в анализируемых устройствах, и рассчитать параметры математических моделей этих компонентов. Значения допусков на параметры пассивных компонентов выбираются в пределах (5 – 20)%, а на параметры активных компонентов – до 50%. Значения температурных коэффициентов для пассивных компонентов задаются не более чем $10^{-3} \frac{1}{\text{град}}$ с произвольным знаком, а для активных компонентов выбираются в соответствии с рекомендациями библиотеки системы.

2.2. Работа в режиме схемного редактора

Новая схема создается по команде New из меню File. При этом возможно как графическое изображение схемы (режим Schematic), так и ее текстовое описание (Spice/Text). Созданные ранее схемы загружаются по команде File – Open.

В результате выполнения команды File – New открывается пустой экран, на котором создается новая схема. Для упрощения построения схемы рекомендуется первоначально нанести на экран координатную сетку путем нажатия мышью на соответствующую пиктограмму.

Элемент, размещаемый на схеме, выбирается в меню Component. Наиболее часто встречающиеся компоненты целесообразно разместить на специальных панелях (с1 по 9), которые открываются путем нажатия клавиши Ctrl+номер соответствующей панели. Выбранный компонент размещается на схеме щелчком мыши. Поворот компонента на 90° осуществляется нажатием правой кнопки до отпускания левой кнопки. Фиксация компонента на схеме выполняется отпуском левой кнопки мыши. После ввода на схему компонента появляется диалоговое окно атрибутов, к которым относятся позиционное обозначение PART (например, R1, C2) и номинальное значение параметра VALUE (например, 2.2к, 10pF). Большинство компонентов, за исключением простейших, имеют атрибут имени модели MODEL (например, транзистор KT315A). Количество атрибутов определяется типом компонента.

В окне, расположенном в правой части окна атрибутов, приводится список моделей в доступных библиотеках.

Редактирование атрибута выполняется после двойного щелчка мышью при расположении курсора на выбранном атрибуте.

Ввод проводника осуществляется по команде Options – Mode – Wire или щелчком мыши по соответствующей пиктограмме. Начало проводника отмечается нажатием левой клавиши мыши, не отпуская которую нанесут проводник на чертеж. Отпускание клавиши фиксирует окончание линии.

Ввод проводников под произвольным углом выполняется в режиме Options – Mode – WireD или нажатием на соответствующую пиктограмму.

Если в процессе проведения проводника он пересекает другой проводник, не останавливаясь в точке пересечения, электрическое соединение не образуется, и точка не проставляется. Соединение образуется, если проводник пересекает конечную точку другого проводника или вывод компонента.

Нанесение на схему текстовых надписей осуществляется в режиме Options – Mode – Text или щелчком мыши по пиктограмме T.

При размещении на схеме компонентов, имеющих модели, их текстовые описания автоматически выводятся в текстовое окно, расположенное ниже окна схем. Параметры математических моделей компонентов редактируются как и в обычном текстовом редакторе.

2.3. Работа в режиме анализа характеристик

Выбор вида анализа осуществляется из режима Analysis главного меню, который включает в себя следующие подрежимы:

- 1) Transient Analysis (Alt+1) – расчет переходных процессов;
- 2) AC Analysis (Alt+2) – расчет частотных характеристик;
- 2) DC Analysis (Alt+3) – расчет передаточных функций по постоянному току.

Каждый из перечисленных подрежимов имеет дополнительные возможности, перечень которых зависит от выбранного подрежима.

После выбора необходимого подрежима при отсутствии ошибок в схеме открывается окно задания параметров моделирования, которое необходимо отредактировать в соответствии с заданием.

После установки всех параметров следует нажать кнопку Run или клавишу F2, при этом система перейдет к расчету характеристик. Результаты анализа выводятся на экран в виде графиков и могут быть выведены на принтер из режима File – Print или нажатием на соответствующую пиктограмму. Кроме того, если нажата пиктограмма Numeric Output (вывод таблиц), то результаты анализа будут выведены в виде таблиц, которые можно просмотреть, нажав клавишу F5, и вывести на принтер.

3. Порядок работы в системе PSPICE

3.1. Общие рекомендации

В отличие от системы MiCRO-Cap5 в системе PSPICE отсутствует интерактивный режим. Процесс моделирования начинается сразу после ввода на запрос системы имен входного и выходного файлов. Входной файл представляет собой текстовый файл с произвольным именем и расширением .cir, который создается пользователем в любом текстовом редакторе, например встроенном редакторе NORTON COMMANDER, на входном языке системы. Он включает в себя следующие основные фрагменты: заголовков, служебные операторы, описание схемы, операторы описания моделей, операторы задания на анализ, операторы вывода результатов анализа, директива конца файла.

При записи входного файла соблюдаются следующие правила.

1. Файл заполняется построчно в верхнем регистре клавиатуры.
2. В каждой строке помещается один оператор, и при переносе информации следующая строка начинается со знака «+» в первой позиции.
3. Первой строкой файла является строка заголовка с любым текстом, чаще всего содержащим сведения об анализируемой схеме.
4. Последняя строка содержит директиву .END .
5. Предусматриваются строки комментариев, которые начинаются со знака «*». Текст, следующий за этим знаком, системой не воспринимается.
6. Все операторы, за исключением фрагмента описания схемы, начинаются со знака точки.
7. Порядок следования строк, за исключением первой и последней, произвольный.
8. При записи числовых значений допускается использование масштабирующих префиксов.

Операционные усилители следует описывать с помощью макромоделей. Описание макромоделей начинается директивой .SUBCKT и заканчивается директивой .ENDS. Между ними помещаются строки описания компонентов, входящих в состав макромоделей:

```
.SUBCKT <имя макромоделей> <список узлов> {описание компонентов}
.ENDS
```

Вызов макромоделей, т.е. включение ее в нужное место цепи, осуществляется предложением X<имя> <список узлов> <имя макромоделей>.

Имена узлов в описании макромоделей являются локальными.

Описание макромоделей можно поместить непосредственно в файл задания на моделирование или в библиотечный файл макромоделей ОУ с

именем `opnom.lib`. Тогда для включения этого ОУ в схему необходимо сначала по директиве `.LIB` обеспечить доступ к этому файлу и затем указать номера узлов подключения макромоделей:

```
.LIB C:\PSPICE\OPNOM.LIB
```

```
X1 12 14 0 16 17 21 K140UD8A.
```

Вызов системы PSPICE осуществляется из программы NORTON COMMANDER обращением к исполняемому файлу `pspic1.exe`, после чего на экране появляется запрос об имени входного файла. На этот запрос следует набрать на клавиатуре имя созданного входного файла без расширения и нажать клавишу «Enter». При этом на экране появится запрос об имени выходного файла. При нажатии клавиши «Enter» выходной файл будет иметь то же имя, что и входной, и расширение `.out`.

В отличие от системы Micro-Cap5 в системе PSPICE все результаты анализа характеристик, заданных во входном файле, записываются в выходной файл, который создается системой автоматически.

В зависимости от использования операторов вывода `.PRINT` или `.PLOT` во входном файле, результаты анализа оформляются в выходном файле в виде таблиц или графиков. Полученный выходной файл может быть просмотрен на экране дисплея или выведен на принтер обычными методами из программы NORTON COMMANDER.

Для качественного визуального просмотра графиков результатов анализа, а также для вывода их на принтер в графическом режиме предусмотрена специализированная программа графического постпроцессора PROBE, информацию для которой готовит система PSPICE, если во входной файл включена директива `.PROBE`. Вызов этой программы можно осуществить также из программы NORTON COMMANDER обращением к исполняемому файлу `probe.exe` после окончания расчетов.

Подробное описание особенностей входного языка системы PSPICE и программы PROBE приведено в [2]. Необходимые методические указания о правилах написания входного файла и особенностях применения входного языка приведены в [4].

3.2. Пример записи входного файла

На рис. 11 представлена схема двухкаскадного усилителя с обратной связью на транзисторах типа КТ315А, КТ361А. Напряжение питания усилителя равно 5 В. Входной узел схемы - 1, выходной – 6. Требуется рассчитать амплитудно-частотную характеристику в диапазоне частот от 1 кГц до 2,1 МГц. Ниже приведена запись входного файла, содержащего все необходимые фрагменты.

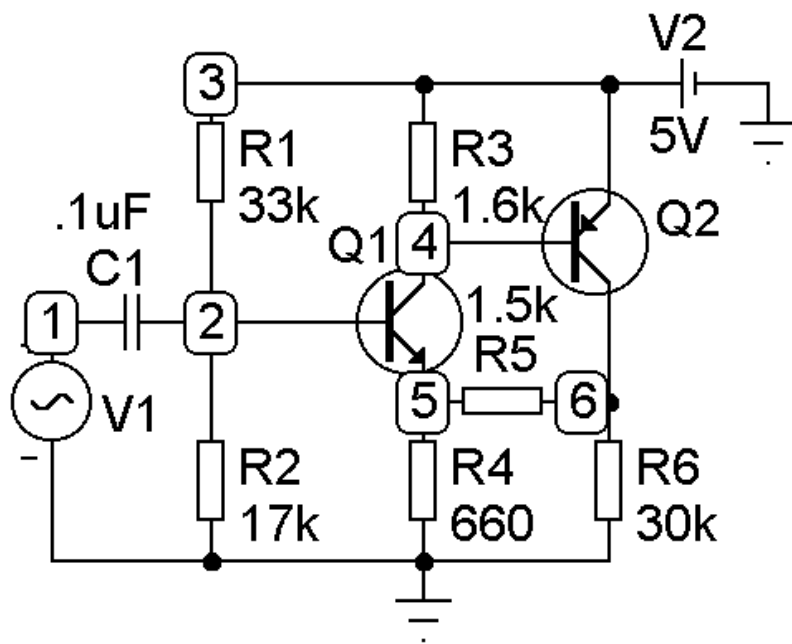


Рис. 11

EXAMPLE1 – INPUT CIRCOIT AMP.CIR

*Фрагмент служебных операторов

.OPT LIST NODE NOPAGE RELTOR = .00001

.WIDTH OUT = 80

*Обращение к программе графического постпроцессора

.PROBE

*Фрагмент описания схемы

R1 3 2 MLT 33K

R2 2 0 MLT 17K

R3 3 4 MLT 1.6K

R4 5 0 MLT .66K

R5 5 6 MLT 1.5K

R6 6 0 MLT 30K

C1 1 2 .1UF

V2 3 0 5V

V1 1 0 AC 1V SIN(0 100MV 1KHZ)

Q1 4 2 5 KT315A

Q2 6 4 3 KT361A

*Фрагмент описания моделей

.MODEL MLT RES TC1=2E-3

.MODEL KT315A NPN BF=50 VA=100 RB=50 CJE=14PF CJC=7PF
+TF=230PS TR=2300PS


```
.MODEL KT361A PNP BF=50 VA=100 RB=50 CJE=14PF CJC=7PF  
+TF=230PS TR=2300PS
```

*Фрагмент задания на анализ

```
.AC LIN 21 1KHZ 2.1MEG
```

```
.TRAN .1MS 2MS
```

*Фрагмент вывода результатов

```
.PRINT AC VDB(6)
```

```
.PRINT TRAN V(6)
```

```
.PLOT AC VDB(6)
```

```
.PLOT TRAN V(6)
```

```
.END
```

Литература

1. Раевич В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-arV. – М.: “Солон”, 1997.
2. Система сквозного проектирования электронных устройств Design Lab 8.0. – М.: “Солон”, 1999.
3. Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных устройств: Рабочая программа; методические указания к практическим занятиям. – СПб.: СЗТУ, 2003.
4. Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных устройств: Методические указания к выполнению лабораторных работ. – СПб.: СЗТУ, 2003.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| 1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ | 3 |
| 1.1. ЗАДАЧИ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА | 3 |
| 1.2. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ | 4 |
| 1.2.1. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ (УПЧ) | 4 |
| 1.2.2. ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА (АМ - ДЕТЕКТОРА)..... | 8 |
| 1.2.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА СИНУСОИДАЛЬНОГО СИГНАЛА НИЗ - КОЙ ЧАСТОТЫ..... | 9 |
| 1.2.4. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПИЛООБРАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ..... | 10 |
| 1.2.5. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖЕКТОРНОГО ФИЛЬТРА | 12 |
| 1.2.6. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКАСКАДНОГО УСИЛИТЕЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ..... | 13 |
| 1.2.7. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ | 14 |
| 1.2.8. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА СИНУСОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ | 15 |
| 1.2.9. ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОГО АРС ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА | 17 |
| 1.2.10. ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОГО АРС ФИЛЬТРА ВЕРХНИХ ЧАСТОТ | 18 |
| 1.3. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА | 18 |
| 2. ПОРЯДОК РАБОТЫ В СИСТЕМЕ MICRO-CAP 5 | 20 |
| 2.1. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КОМПОНЕНТОВ | 20 |
| 2.2. РАБОТА В РЕЖИМЕ СХЕМНОГО РЕДАКТОРА | 20 |
| 2.3. РАБОТА В РЕЖИМЕ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК | 21 |
| 3. ПОРЯДОК РАБОТЫ В СИСТЕМЕ PSPICE..... | 22 |
| 3.1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ | 22 |
| 3.2. ПРИМЕР ЗАПИСИ ВХОДНОГО ФАЙЛА..... | 23 |
| ЛИТЕРАТУРА | 25 |

Сводный темплан 2003 г.

Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.97

Редактор И.Н. Садчикова

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16

Б.Кн.- журн.

Пл.

Б.л.

РТП РИО СЗТУ

Тираж

Заказ

**Северо-Западный государственный заочный технический
университет**

**РИО СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации
вузов Санкт-Петербурга**

191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 5