

Лабораторная работа № 15

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

1 Цель работы

Исследование основных параметров и характеристик преобразователя частоты на биполярном транзисторе с помощью компьютерного моделирования для линейного и нелинейного режимов работы преобразователя по напряжению сигнала.

2 Задание

2.1 Расчетная часть

2.1.1. Используя характеристику крутизны коллекторного тока $S = f(V_{бэ})$, определить начальное смещение $V_{бэ0}$ и амплитуду напряжения гетеродина, соответствующих углам отсечки по крутизне 180° и 90° (для одинаковых, в обоих случаях S_{\max}).

2.1.2. Рассчитать крутизну преобразования по первой и второй гармонике для указанных углов отсечки.

2.2 Экспериментальная часть

2.2.1. Используя вспомогательную схему, получить характеристику крутизны транзистора $S = f(V_{бэ})$.

2.2.2. Выбрать рабочие точки и амплитуды напряжения гетеродина, соответствующие углам отсечки по крутизне 180° и 90° . Для угла отсечки $\Theta = 90^\circ$ уточнить элементы принципиальной схемы преобразователя частоты (ПрЧ) и получить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) каскада в режиме усиления.

2.2.3. Для линейного режима работы преобразователя получить амплитудно-частотную характеристику преобразователя.

2.2.4. Рассчитать зависимость выходного напряжения от амплитуды напряжения гетеродина.

2.2.5. Рассчитать зависимость выходного напряжения от амплитуды напряжения сигнала.

2.2.6. Определить амплитуду напряжения сигнала, приводящую к появлению побочного канала приема, на полужеркальной частоте.

3 Методические указания по выполнению работы

3.1 Описание исследуемой принципиальной схемы

Принципиальная схема преобразователя частоты состоит из параметрического элемента (биполярного транзистора), крутизна которого изменяется под воздействием напряжения гетеродина, и полосового фильтра (одиночного колебательного контура).

Источник напряжения гетеродина V3 (рис. 15.1) включен в эмиттерную цепь. Входной сигнал подается через разделительный конденсатор C1 и резистор R1, отражающий свойства реального источника сигнала. Резисторы R2 и R3 — делитель напряжения питания, обеспечивающий требуемое напряжение смещения на базо-эмиттерном промежутке $V_{бэ0}$ ($I_{б0}$) вместе с R5 и R7. Резистор R7 вместе с R5 создает напряжение $V_{кэ0}$, обеспечивающее положение рабочей точки в активной области на семействе выходных характеристик тран-

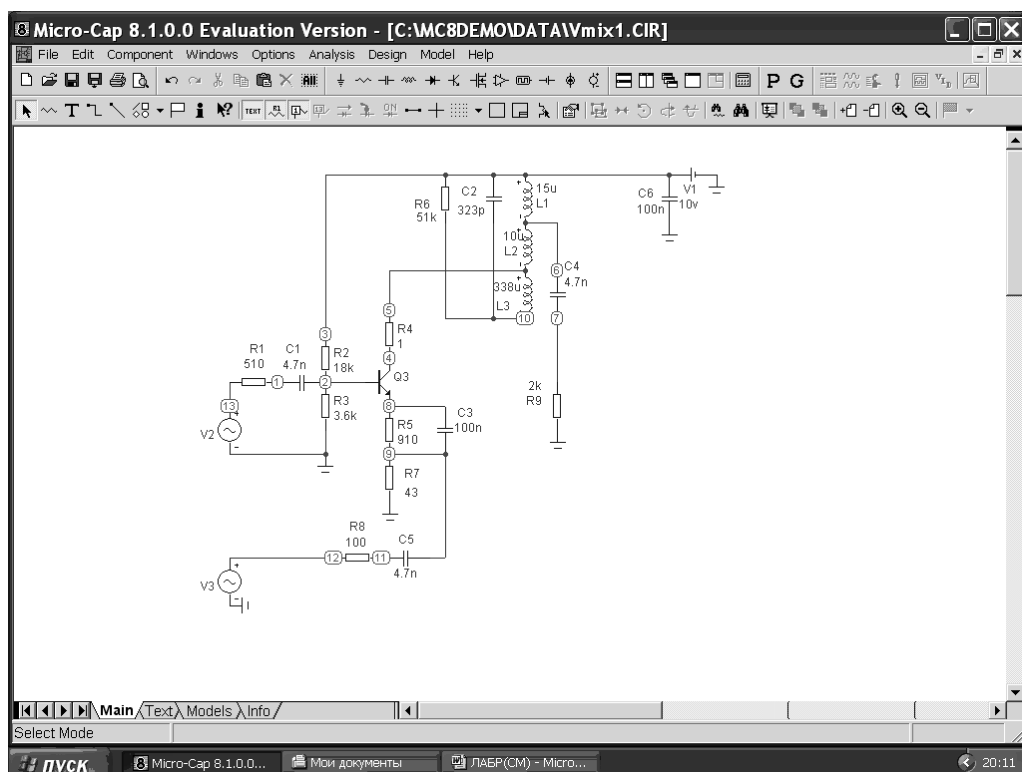


Рис. 15.1

зистора (значение постоянной составляющей тока $I_{к0} = 1$ мА). Резистор R4, имеющий малое сопротивление служит для получения формы тока коллектора (пропорциональное напряжению на R4) и частотной характеристики преобразователя. Колебательный контур в коллекторной цепи настроен на стандартную промежуточную частоту 465 кГц при неполном включении в него выходного сопротивления транзистора Q3, а также, входного сопротивления следующего каскада. Резистор R6 отражает собственные потери в контуре, выполняющем роль фильтра, в нагрузке преобразователя частоты.

Нагрузкой преобразователя частоты (ПрЧ) по переменному току является колебательный контур вместе с резистором R9, определяющим некоторое эквивалентное входное сопротивление следующего каскада. Неполное включение резистора R9 снижает его шунтирующее действие на колебательный контур. В реальных условиях неполное включение снижает влияние на ПрЧ параметров транзистора следующего каскада, изменяющихся за счет воздействия внешних факторов.

Конденсатор C4 разделяет по постоянному току ПрЧ и последующий каскад. Для исключения взаимного влияния по постоянному току источника напряжения гетеродина и ПрЧ в схему установлен конденсатор C5 достаточно большой емкости (обладающий малым сопротивлением на частоте гетеродина). Конденсатор C6, шунтирует источник питания, обеспечивая ему свойства идеального источника, по переменному току (нулевое внутреннее сопротивление).

Резисторы R5, R7 вместе с R3 обеспечивают температурную стабилизацию режима работы транзистора за счет отрицательной обратной связи по постоянному току. Для сохранения достаточно высокого коэффициента усиления (сравнимого с коэффициентом усиления каскада без отрицательной обратной связи) параллельно R5 включают конденсатор C3, исключаяющий обратную связь по переменному току. На резисторе R7 выделяется напряжение гетеродина, изменяющего динамическую крутизну транзистора, и реализующего эффект преобразования. Резистор R8 отражает неидеальность реального источника напряжения гетеродина.

3.2 Расчетная часть

3.2.1. На основе семейства входных и выходных характеристик графическим методом построить проходную характеристику $I_k = f(V_{бэ})$ и по ней — характеристику крутизны коллекторного тока $S = f(V_{бэ})$, ($S \approx \Delta I_k / \Delta U_{бэ}$).

(Характеристику крутизны коллекторного тока можно получить с помощью системы схемотехнического моделирования Micro Cap8 (MC8), используя вспомогательную схему (см. раздел 3.3.))

3.2.2. Аппроксимировать характеристику крутизны линейно-ломаной и для углов отсечки по крутизне 180° и 90° определить начальное смещение E_0 и амплитуду напряжения гетеродина.

Крутизна преобразования по первой и второй гармоникам промежуточной частоты рассчитывается при линейно-ломаной аппроксимации характеристики крутизны коллекторного тока от входного напряжения для заданных углов отсечки, используя графики Берга.

3.3 Машинное моделирование

Временные и частотные характеристики преобразователя на биполярном транзисторе исследуются на примере распространенной схемы с подачей напряжения сигнала в базовую, а напряжения гетеродина в эмиттерную цепи.

Предполагается, что:

- студенты знакомы с основами операционной системы WINDOWS 98 или более поздними версиями;
- имеют доступ к сети INTERNET и в состоянии, по указанному в п. 8 описания адресу, получить инсталляционные файлы демонстрационной (студенческой) версии программы mc8demo.exe или приобрести эту программу на CD-R дисках.

Демонстрационная версия содержится в ZIP файле (ее можно раскрыть программой PKUNZIP). Запуск программы осуществляется программой SETUP.EXE. После завершения установки формируется папка Micro Cap8 Working Demo для быстрого запуска MC8. В подкаталог MC8demo\data заносятся файлы схем, имеющие расширение .CIR, и библиотеки математических моделей компонентов в файлах с расширением .LBR.

3.3.1 Ввод принципиальной схемы ПрЧ

После установки и запуска программы mc8demo.exe в верхней части экрана монитора появляется окно главного меню с панелью команд (рис. 15.2).

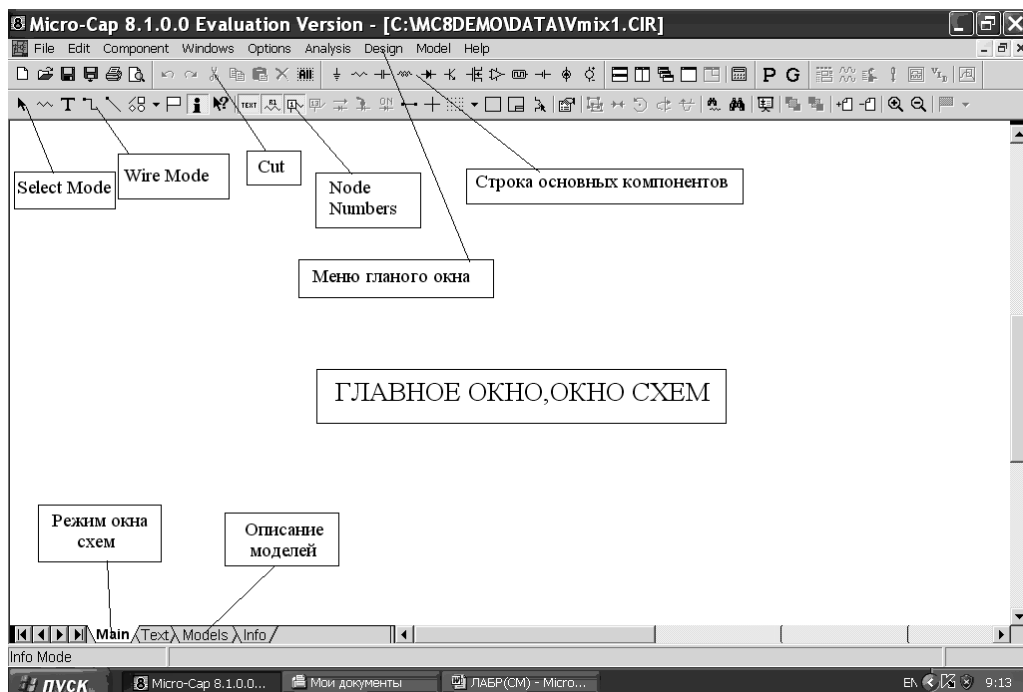


Рис. 15.2

Меню главного окна представлено второй строчкой сверху. Оно состоит из команд: File, Edit, Components, Windows, Options, Analys, Help. Верхняя строчка главного окна в подкаталоге \DATA укажет присвоенное ЭВМ или выбранное Вами имя вводимой схемы с расширением *.CIR, которое используется для описания схемы во внутреннем формате MC8 (вначале ЭВМ присваивает формируемой схеме имя CIRCUIT с некоторым порядковым номером, например, CIRCUIT1, которое при выходе из программы можно заменить на любое другое).

Применяемые в принципиальной схеме наиболее часто встречающиеся компоненты (конденсаторы, резисторы) выбираются курсором (рис. 15.2), активируются левой кнопкой мыши (например, резистор) и затем помещаются в выбранном месте главного окна при повторном нажатии на левую кнопку. Удерживая нажатой левую кнопку можно вращать компонент, щелкая правой. При отпускании левой кнопки местоположение компонента фиксируется и на ниспадающем меню Resistor предлагается присвоить ему позиционное обозначение (PART), указать его величину (VALUE), а так же другие, не используемые при выполнении лабораторной работы, параметры. Присвоенные значения могут изображаться вместе с компонентом в главном окне, если подсвеченный параметр помечен галочкой Show (рамка Value справа, рис. 15.3). При вводе значения параметров допускается использование масштабных коэффициентов:

Значение	6 10	3 10	-3 10	-6 10	-9 10	-12 10	-15 10
Префикс	MEG	K	M	U	N	P	F
Степ. форма	10E+6	10E+3	10E-3	10E-6	10E-9	10E-12	10E-15

Масштабный коэффициент может содержать и другие дополнительные символы, которые программа игнорирует. То есть величина емкости в 5 пФ может быть введена: 5 PF или 5 P, или 5E-12.

Подтверждением окончания ввода параметров компонента является нажатие кнопки ОК. Если неверно введены какие-либо сведения, то нажатие кнопки Cancel отменяет всю введенную информацию о компоненте.

При необходимости коррекции отдельных элементов принципиальной схемы требуется сначала его удалить. Для этого вначале активизируют режим редактирования элементов и компонентов схемы (Select Mode, рис. 15.2). Затем, подведя курсор к компоненту, нажимают на левую кнопку мыши. При этом подсвечивается, обычно зеленым светом, компонент или соответствующий текст на принципиальной схеме и затем, войдя в меню EDIT, на выпадающем подменю выбирают CUT (рис. 15.4) и удаляют необходимый атрибут схемы. Альтернативным вариантом при удалении компонентов является применение пиктограммы CUT (или Ctrl-X) на панели инструментов (ножницы), которая активизируется только при нажатой кнопке Select Mode (рис. 15.2).

Для ввода транзистора типа n-p-n, можно использовать пиктограмму с изображением транзистора на строке основных компонентов окна схем или меню

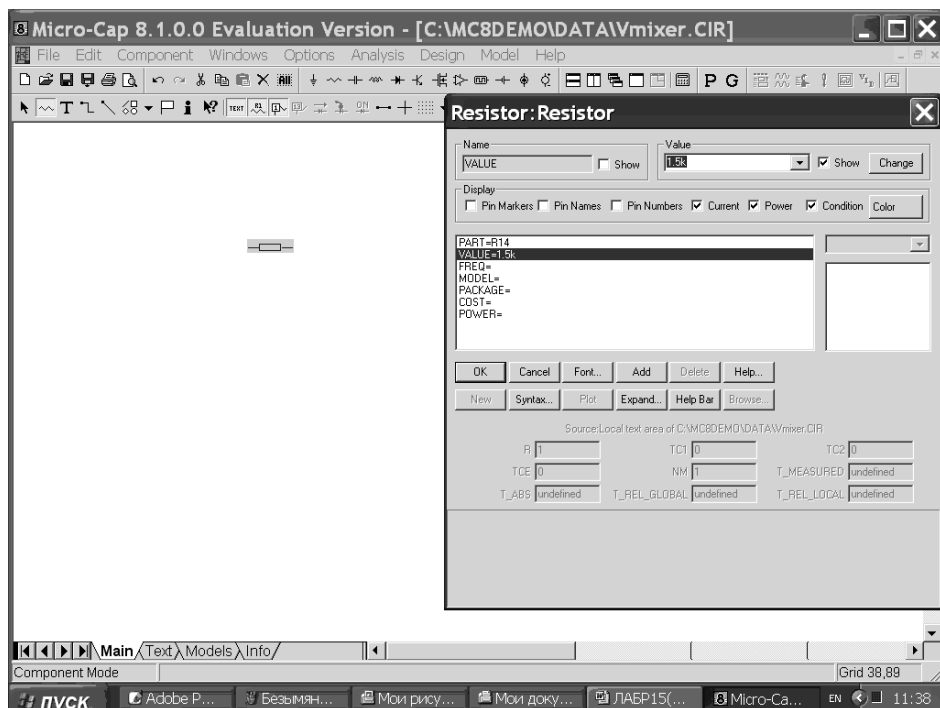


Рис. 15.3

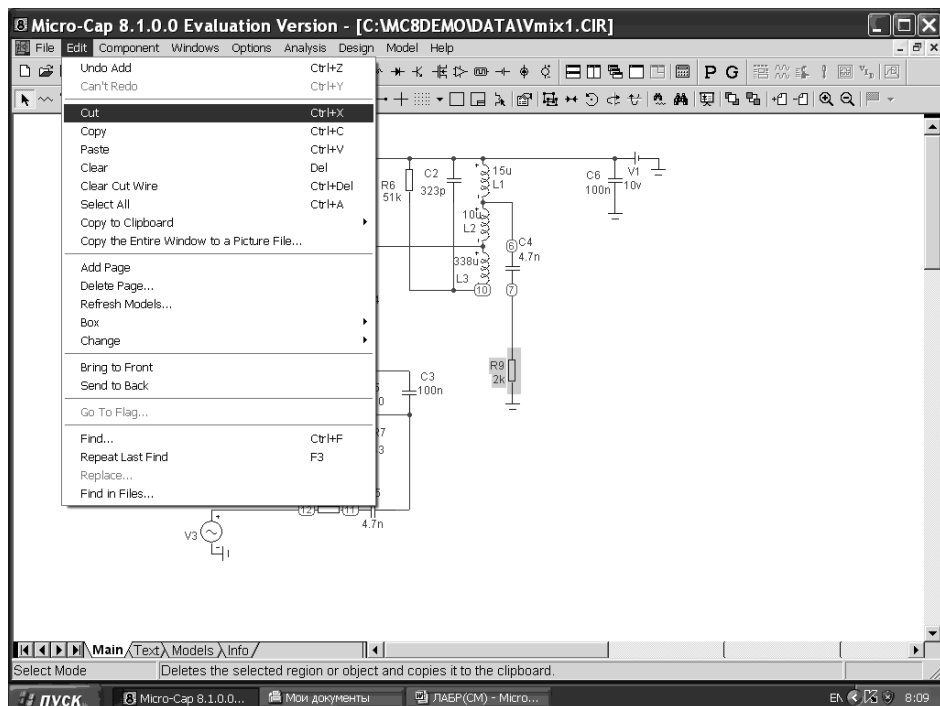


Рис. 15.4

Components. В этом случае сначала надо выполнить команду Components в меню главного окна и на дополнительном меню, разворачивающемся вправо, выбрать Analog Primitives (простейшие аналоговые элементы), а из предлагаемого списка устройств выбрать Active Devices (активные компоненты), а затем, на закладке активных компонентов, n-p-n (рис. 15.5).

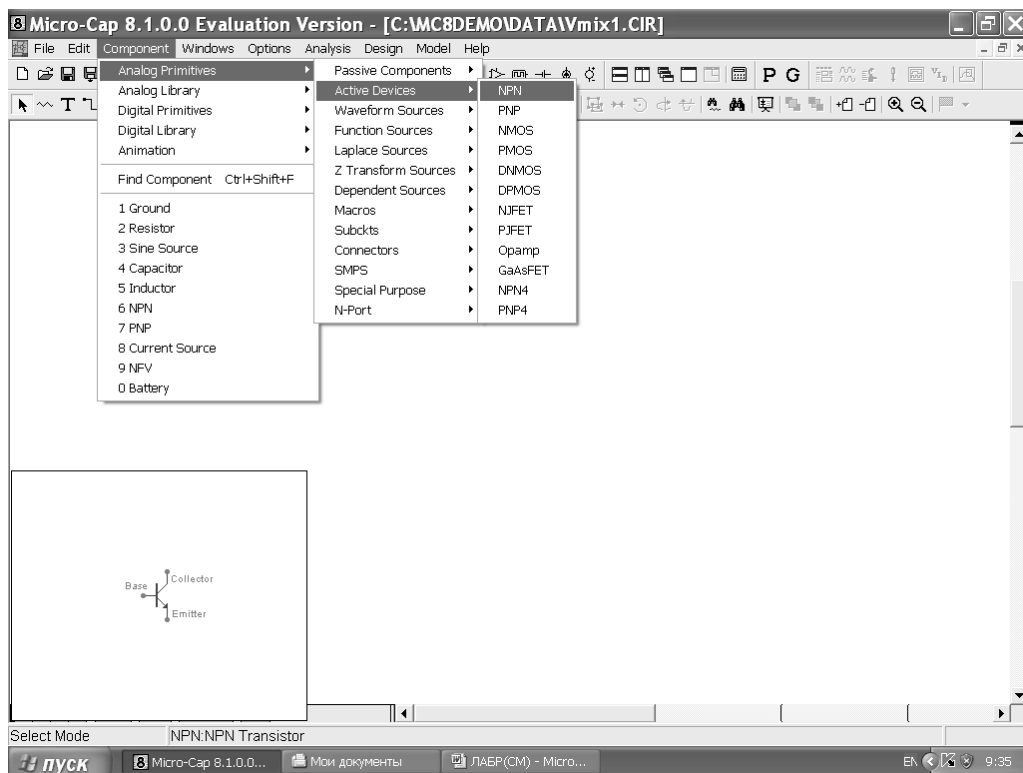


Рис. 15.5

В дальнейшем, при повторном вводе транзистора такого типа, выполняемая команда Components уже содержит данный тип транзистора на выпадающем меню и достаточно лишь активизировать в нем соответствующую строку.

При нажатии на левую кнопку мыши на ниспадающем меню (рис. 15.6) p-n-p Transistor выбирается позиционное обозначение (PART), начинающееся по умолчанию с буквы Q, затем его характеристика VALUE, определяющая активный режим и тип транзистора MODEL.

Поскольку в библиотеке MC8 нет отечественных транзисторов, то необходимо ввести параметры модели транзистора 2Т316Д. Для этого после ввода выбранного обозначения транзистора (PART) характеристики, определяющей активный режим VALUE (можно не вводить), выбирается строка MODEL (рис. 15.6), и нажатием на кнопку NEW задаете переход в режим ввода параметров новой модели транзистора. В строке MODEL появляется надпись New Model1, что дублируется в строке, очерченной рамкой Value.

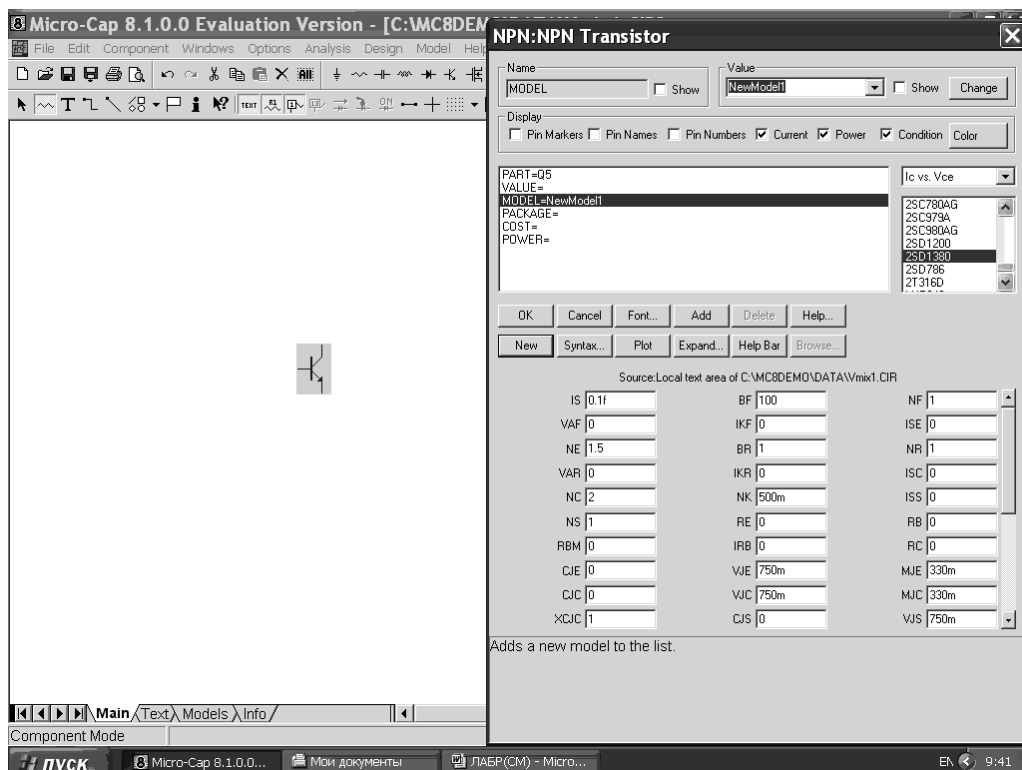


Рис. 15.6

Находящийся там курсор, позволяет ввести название выбранного Вами в колонке справа транзистора или ввести новый. Введя название транзистора (при отсутствии в колонке справа необходимого транзистора) затем приступаете к редакции параметров модели Гумеля — Пуна, описанных в таблице параметров, предъявляемого программой. Для этого курсор левой кнопкой мыши помещаете в одном из окон массива:

Source: Local text area of C:\DATA\Vmix1.CIR, где Vmix1 имя файла, использующегося для ввода принципиальной схемы смесителя и последующего анализа. Содержащиеся в каждом окне числового массива значения удаляются «стрелкой» вверх клавиатуры и затем вводятся значения параметров из описания модели транзистора 2T316D (рис. 15.7).

Сведения о параметрах модели транзистора также можно ввести используя режим описания моделей. Для этого необходимо войти в режим Models из главного окна, щелкнув левой кнопкой мыши по надписи внизу главного окна (рис. 15.2), активизируя режим описания моделей используемых активных устройств (Active Devices). Содержание текстового файла (рис. 15.8) с параметрами транзистора 2T316D совпадает со сведениями представленными в таблице (рис. 15.7).

Отсутствующие некоторые параметры в текстовом файле по сравнению с рис. 15.7 принимаются по умолчанию и могут не вводиться.

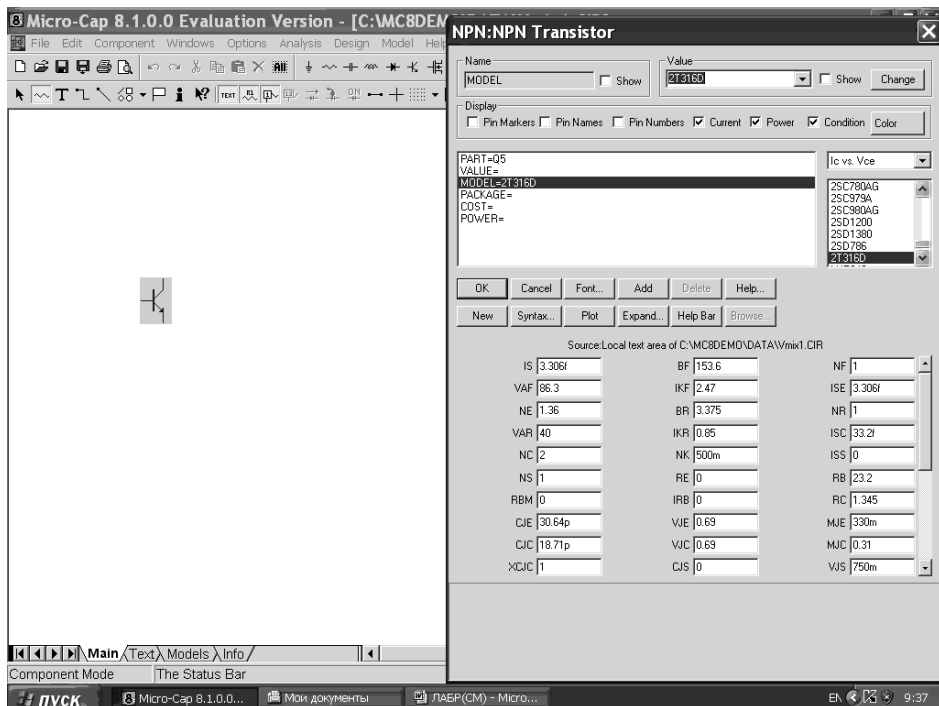


Рис. 15.7

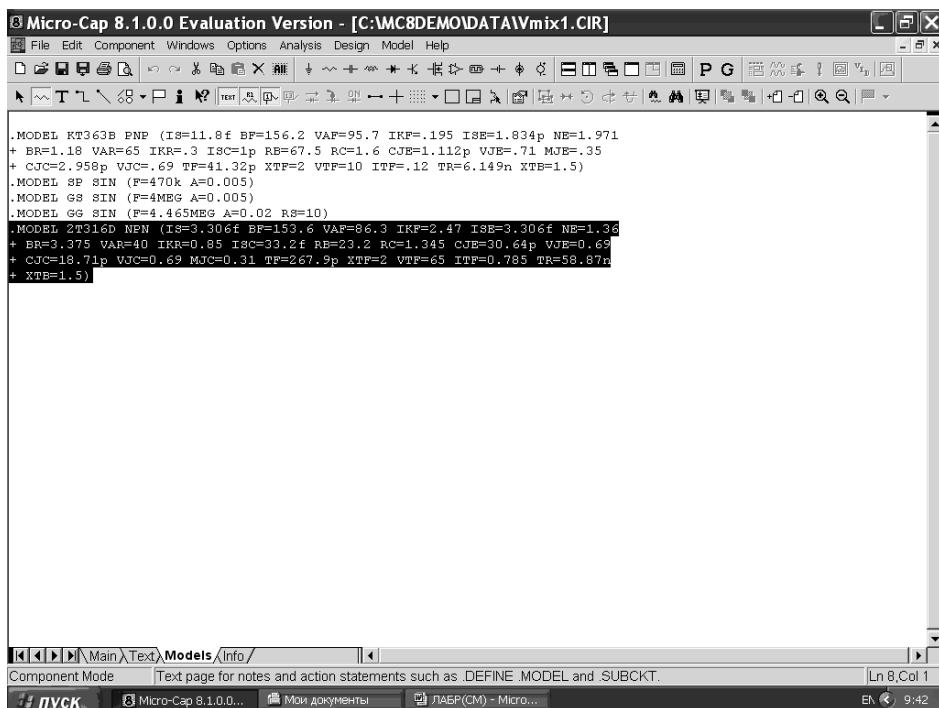


Рис. 15.8

3.3.2 Анализ вспомогательной схемы. Получение характеристики крутизны

Анализ принципиальной схемы смесителя предваряется выбором оптимального, с точки зрения минимума побочных каналов приема, режима работы транзистора Q3 по постоянному току. Для этой цели вводится вспомогательная схема (рис. 15.9) на транзисторе Q1 типа KT316D, идентичного транзистору Q3 преобразователя (можно ввести в том же окне схем, рис. 15.1, или же организовать новый файл Vnmixer, рис. 15.9).

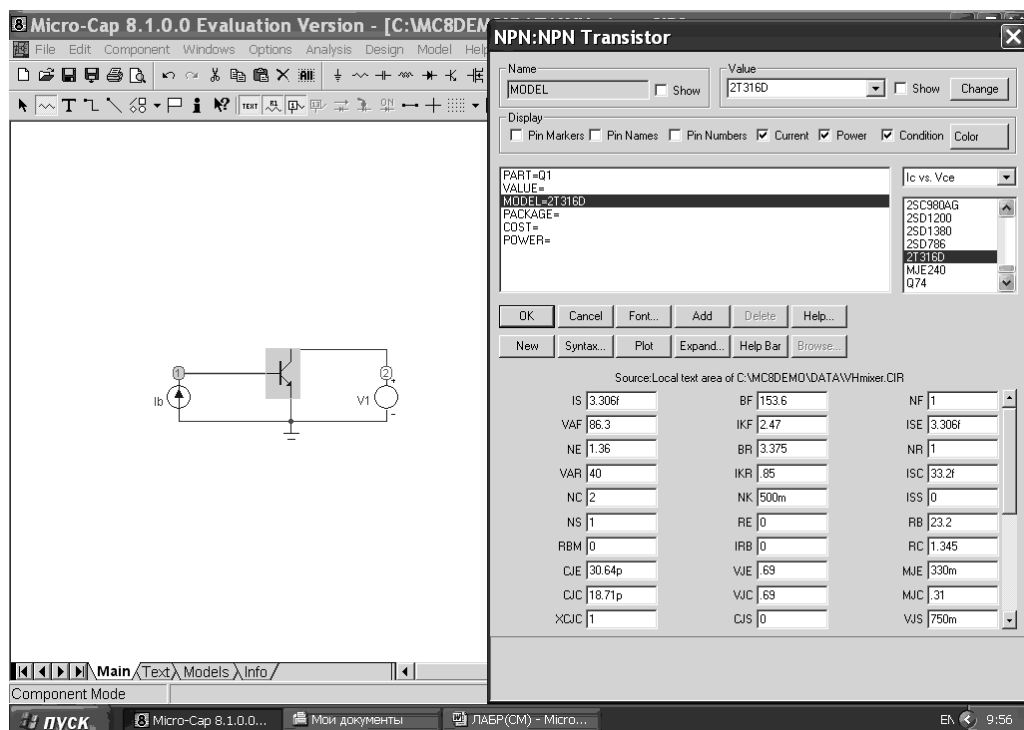


Рис. 15.9

В качестве входного источника постоянного тока Current Source используется I_b -ток базы.

Процедура задания параметров источника: активизируя команду Components в окне главного меню, на последовательно выпадающих закладках выбираем Analog Primitives, Waveform Sources, Current Source. При нажатии левой кнопки на активизированную строку Current Source появляется символ источника тока. Выбрав положение источника тока в окне главного меню нажатием левой кнопки мыши активизируем диалоговое окно Current Source, где из предлагаемого перечня источников: None, Pulse, Sin, Exp, PWL, SFFM, Noise, Gaussian выбираем источник постоянного тока None (нажатием левой кнопки мыши) с указанными на рис. 15.11 значениями параметров.

Для ввода его параметров используют методику аналогичную, описанной ранее, при задании, например, транзистора.

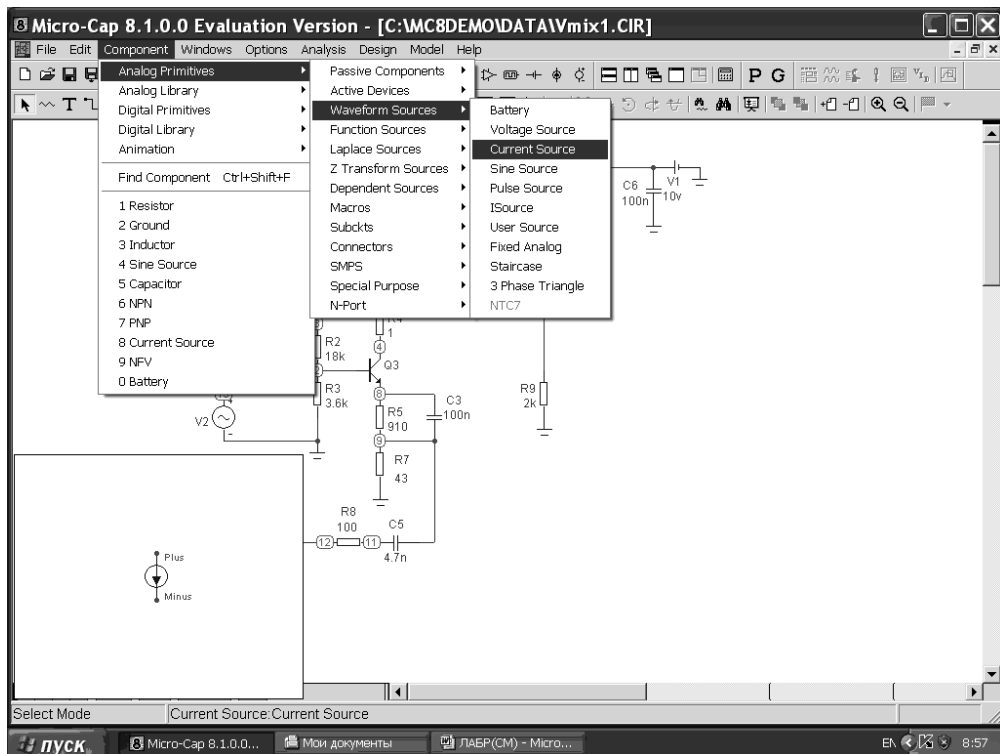


Рис. 15.10

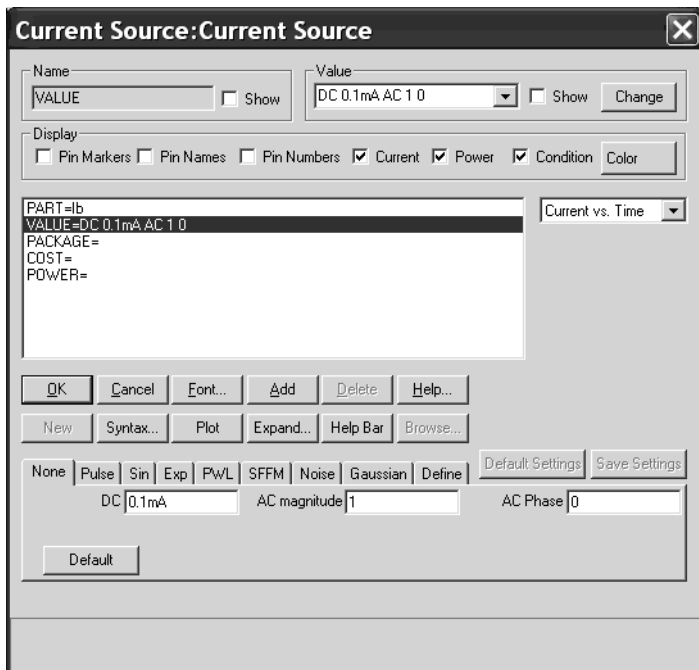


Рис. 15.11

Следует заметить, что базовый источник (Ib) является источником постоянного тока, в качестве которого может выбираться Current Source или ISource. При анализе по постоянному току значения AC magnitude и AC Phase не учитываются, так как эти параметры используются лишь при исследовании частотных свойств схемы.

Источником питания в коллекторной цепи транзистора является источник постоянного напряжения величиной 10 В (что соответствует режиму работы транзистора в ПрЧ) при значении амплитуды переменной составляющей 1 В и нулевой фазы, используемых только при анализе частотных свойств схемы (рис. 15.12).

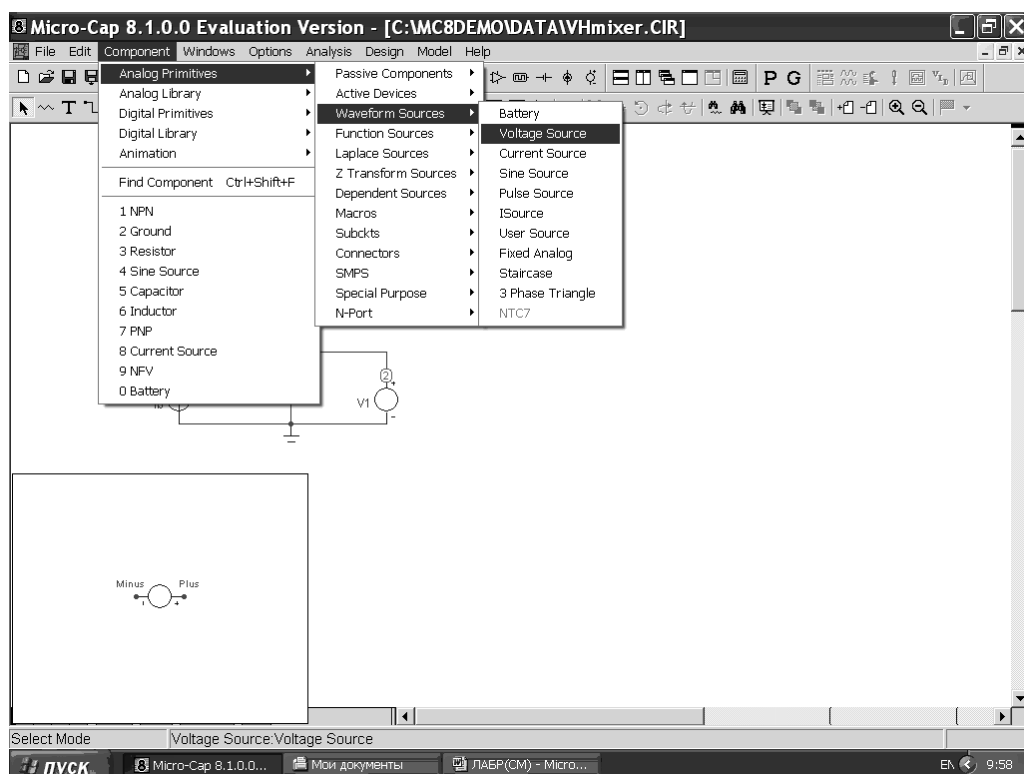


Рис. 15.12

В схеме используется источник питания Voltage Source, из встроенной в MC8, библиотеки источников различного типа и видов формируемого напряжения. Выбор необходимого источника осуществляется процедурой: активизировать в окне главного меню (рис. 15.2) команду Components, на последовательно выпадающих закладках выбрать Analog Primitives → Waveform Sources → Voltage Source.

При нажатии левой кнопки мыши, находясь в активной строке Voltage Source, появляется символ источника напряжения. Установив источник напряжения в нужном месте окна схем, нажатием левой кнопки мыши активируем диалоговое окно Voltage Source где, из предлагаемого перечня источ-

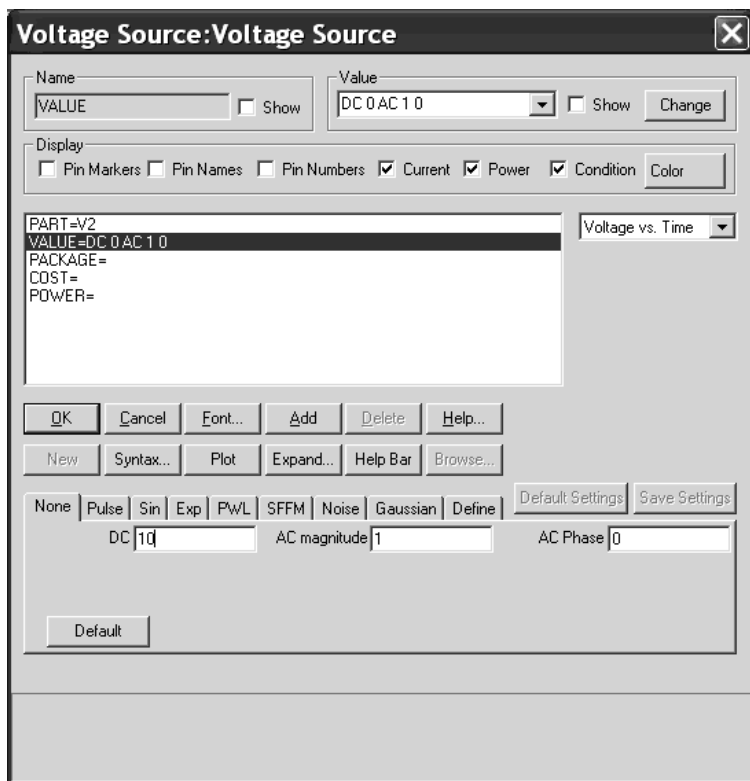


Рис. 15.13

ников: None, Pulse, Sin, Exp, PWL, SFFM, Noise, Gaussian выбираем источник постоянного напряжения None (нажатием левой кнопки мыши) с указанными на рис. 15.13 значениями параметров.

Вспомогательная схема на транзисторе Q1 с подключенными источниками Ib и V1 (рис. 15.9) позволяет строить статические выходные характеристики транзистора, проходную характеристику $I_k = f(V_{63})$, а также характеристику крутизны транзистора $S = f(V_{63})$, необходимую для выбора оптимального режима работы преобразователя.

Семейство выходных характеристик транзистора в MC8 можно получить, введя параметры модели транзистора и, указав в диалоговом меню NPN Transistor, (рис. 15.9) над окном, определяющим тип выбранного транзистор 2T316D, вид характеристик, выводимых на экран диалогового окна. Нажатием на кнопку изменения размера окна можно вывести на экран монитора, например, I_c vs. V_{ce} ($I_k = f(V_{к3})$) — семейство выходных характеристик; их использование затруднительно, поскольку выводимые кривые не соответствуют реальным режимам эксплуатации и не позволяют оценить параметры рабочей точки транзистора).

При использовании вспомогательной схемы на транзисторе Q1 семейство выходных характеристик транзистора получают, входя в режим расчета передаточных функций по постоянному току (DC Analysis).

При переходе в режим DC программа проверяет правильность схемы, составляет ее топологическое описание, открывает окно задания параметров моделирования DC Analysis Limits (рис. 15.14) и после ввода пределов анализа и указания типа варьируемых переменных, входит в режим анализа. Численный анализ нелинейных уравнений выполняется итерационным методом Ньютона — Рафсона.

P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	Vce(Q1)	Ic(Q1)	10,0,1	8e-3,0,1e-3
	Vbe(Q1)	Ic(Q1)	-1,-0.5	-30e-3,0
	Vbe(Q1)	del(Ic(Q1))/del(Vbe(Q1))	-1,-0.5	0.65,1e-20,0.1

Рис. 15.14

В окне задания параметров (рис. 15.14) расчета передаточных функций по постоянному току имеется ряд разделов.

Команды:

Run — начало моделирования;

Add — добавление еще одной строки спецификации вывода результатов после строки, отмеченной курсором;

Delete — удаление строки спецификации вывода результатов, отмеченной курсором;

Expand — открытие дополнительного окна для ввода текста в окне, помеченном курсором в одном из столбцов содержащих выражения (Expression);

Stepping — открытие диалогового окна вариации параметров;

Properties — открытие диалогового окна задания параметров;

Help — вызов системы помощи раздела DC Analysis.

Числовые параметры:

Variable 1 — задание первой варьируемой переменной. В столбце Method выбирается метод варьирования переменной — Auto, с шагом, определяемым ЭВМ. Имя варьируемой переменной V1 — напряжение источника питания в коллекторной цепи. В столбце Range указываются пределы (верхний и нижний) изменения V1. Шаг варьирования при этом автоматически выбирается равным $(10-0.05)/50$.

Вторая варьируемая переменная Variable 2 (Ib-ток базы) выбирается с линейным законом изменения с пределами изменения столбец Range: верхнее значение — 0 mA, наименьшее — 0.05 mA, шаг — 0.005 mA.

Температура (Temperature) не изменяется, выбирается равной 27 °C. Анализ передаточных функций для ряда температур проводится при указании границ (Range) изменения температуры и шага, при выбранной закономерности (Method) изменения температуры. При изменении температуры меняются параметры компонентов, имеющие ненулевые температурные коэффициенты (ТС), а так же ряд параметров полупроводниковых приборов.

Number of Points — количество точек, выводимых в виде таблиц (количество строк в таблице вывода результатов, при выборе такого режима рис. 15.28).

Maximum change — максимально допустимое приращение значения первой функции на одном шаге (в процентах от полной шкалы).

Run Options — выбор опции определяет способ обработки или хранения результатов расчета. При выборе процедуры Normal результаты текущих расчетов не сохраняются.

Присвоение признака выбора автоматического масштабирования (метка в Auto Scale Ranges) передает ЭВМ право выбора масштаба по осям X и Y для всех выводимых графиков. Выключенная опция определяет масштаб по осям, указанный в столбцах X Range и Y Range.

Результаты моделирования (рис. 5.15) в форме семейства графиков выходных статических характеристик транзистора выводятся в системе координат: ток коллектора I_c в функции напряжения между коллектором и эмиттером V_{ce} , определяемых выражениями в XExpression и YExpression. Столбец P (Plot Group) определяет число графических окон, в котором будет построено семейство выходных характеристик. Максимальное и минимальное значения переменной напряжения между коллектором и эмиттером V_{ce} и шаг сетки по оси X, задается в Xrange, а тока коллектора I_c (по оси Y) в YRange. Пиктограммы в левой части каждой строки (рис. 15.13) позволяют выбирать линейную (как на рис. 15.14) или логарифмическую шкалу по осям X и Y. При выборе логарифмической шкалы диапазон изменения переменной должен быть положительным.

Проведя аналогичные расчеты с использованием подменю рис. 15.16 для описания порядка проводимых вычислений, значений пределов и законов изменения варьируемой переменной получим проходную характеристику $I_k = f(V_{бэ})$ (I_c vs. V_{be}) при значении коллекторного напряжения 9 В (рис. 15.17).

Примечание: отсутствие начального участка на проходной характеристике свидетельствует о недостаточной точности вычисления графика. Для получения проходной характеристики при напряжениях $V_{бэ} \approx 0,5$ В необходимо в подменю DC Analysis Limits нажать кнопку Properties и в раскрывшемся подменю Properties (рис. 15.18) выбрать закладку Scales and Formats (оси и масштаб представляемых кривых) и в окне, ограниченной рамкой X ввести меньшее значение масштабной сетки по оси X (Grid Spacing), указав параметры выводимых кривых, форму представления, масштаб и др. как отображено на рис. 15.18.

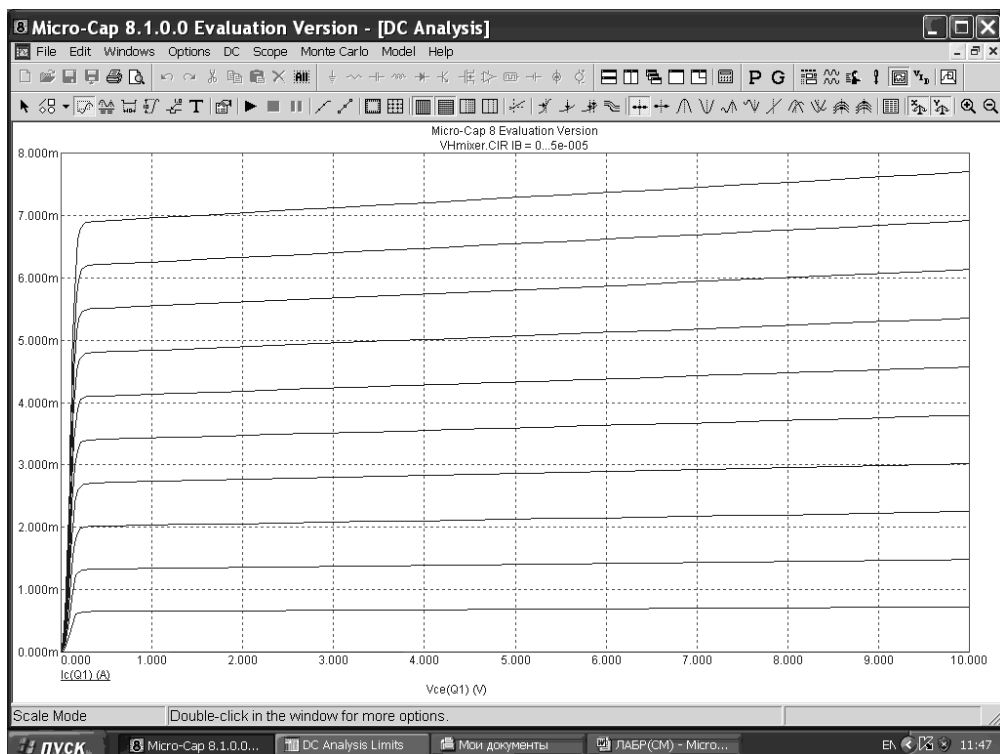


Рис. 15.15

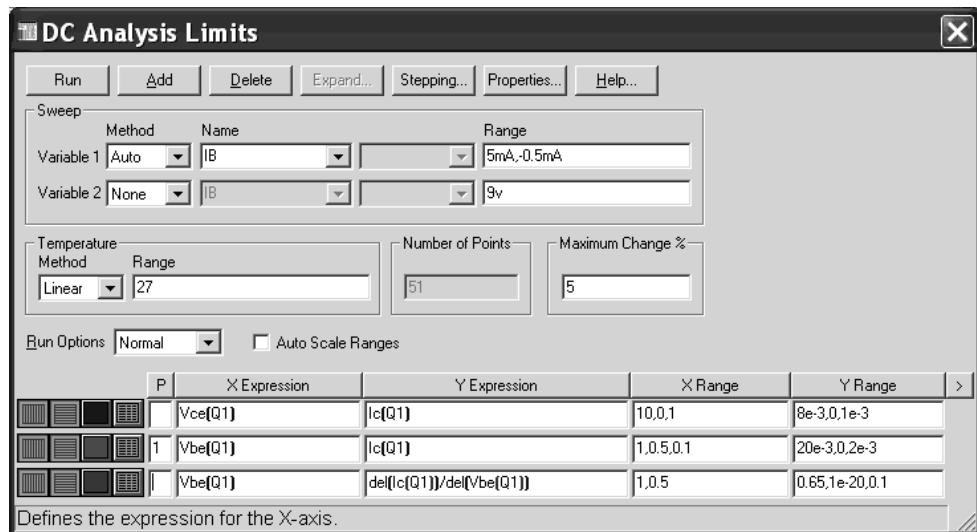


Рис. 15.16

При этом варьируется лишь одна переменная — ток базы (I_b) с автоматическим выбором шага и фиксированным значением коллекторного напряжения V_1 (Variable 2-None).

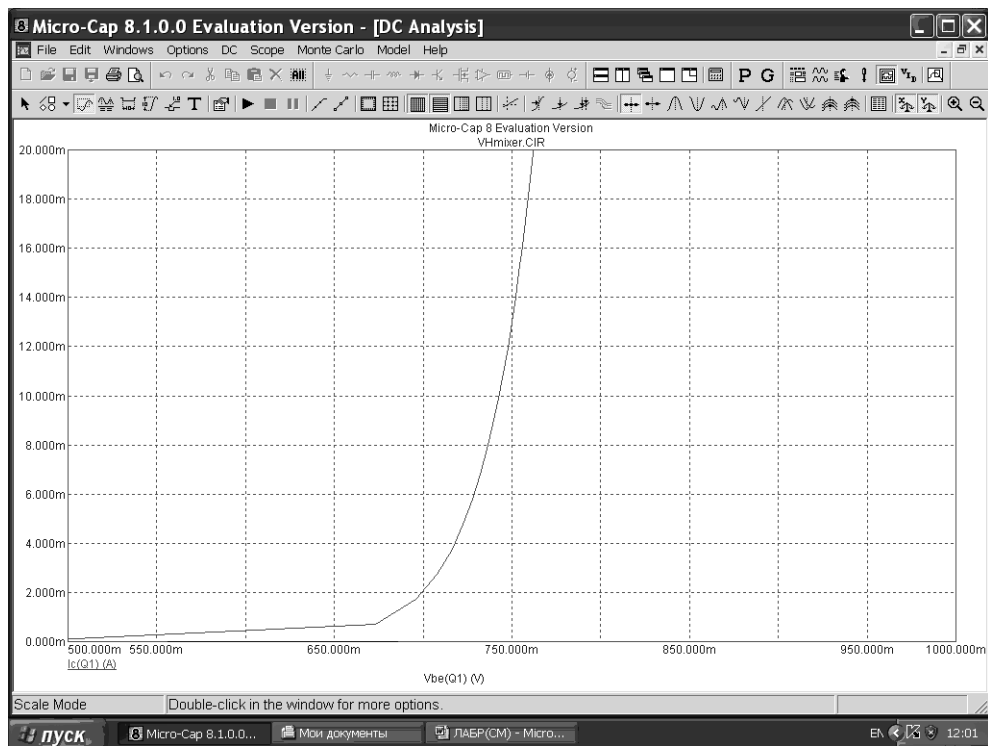


Рис. 15.17

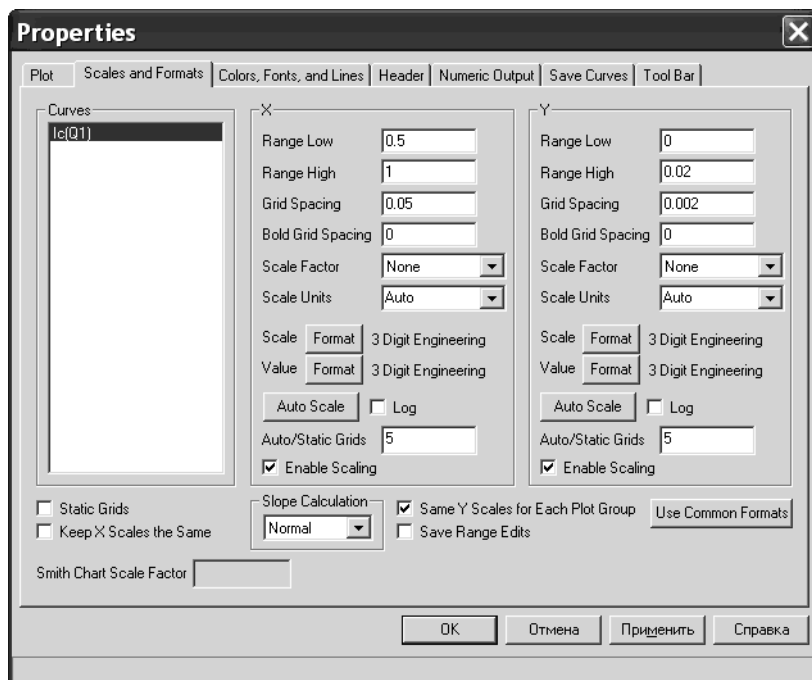


Рис. 15.18

Самым важным результатом исследования вспомогательной схемы на транзисторе Q1 является получение характеристики динамической крутизны транзистора с последующим определением оптимального для преобразователя режима работы по постоянному току. Эта характеристика является производной от проходной характеристики $\text{del}(I_c)/\text{del}(V_{be})$. Выбор варьируемой переменной, пределов анализа, особенности описания выводимой переменной в MC8 и пределы графического представления результатов описаны в диалоговом окне DC Analysis Limits (рис. 15.19).

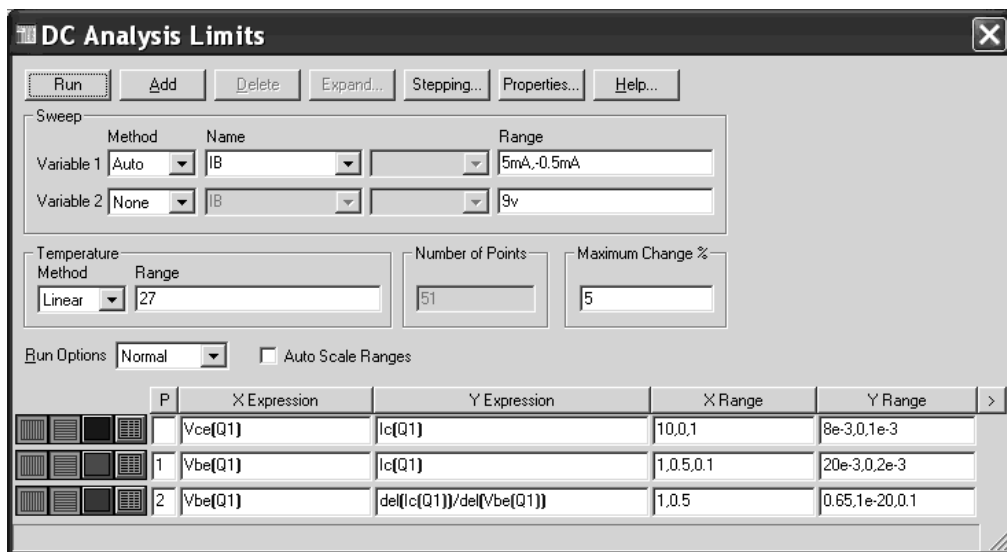


Рис. 15.19

Пример характеристики крутизны приведен на рис. 15.20. На полученной кривой выделите участок, обеспечивающий, при линейно-ломанной аппроксимации характеристики крутизны, угол отсечки в 180° , определите значение постоянной составляющей тока коллектора. Вычислите величину напряжения смещения V_{690} (ток коллектора I_{k0}) и амплитуду напряжения гетеродина, реализующего линейный режим работы преобразователя (при угле отсечки 180°). Проведите подобные расчеты для угла отсечки 90° .

Обеспечение режима работы транзисторов в соответствии с рекомендациями п. 3.1 достигается при выборе элементов схемы, приведенных на рис. (15.1). Проверка указанных режимов проводится с использованием подменю Dynamic DC. Для того в меню главного окна схем выбирают команду Analysis и на дополнительном, разворачивающемся вправо, подменю Dynamic DC (рис. 15.21).

При приведенного на выпадающей закладке варианта выбора пределов режима Dynamic DC Limits, на принципиальной схеме указываются рассчитанные значения напряжений в узлах (по умолчанию), что реализуется для выбранной температуры (рис. 15.22) Temperature List (или списка значений) и величине шага изменения температуры в процентах (Slider Percentage Step Size). Выбор режима Place Text (установка метки) позволяет получать на экра-

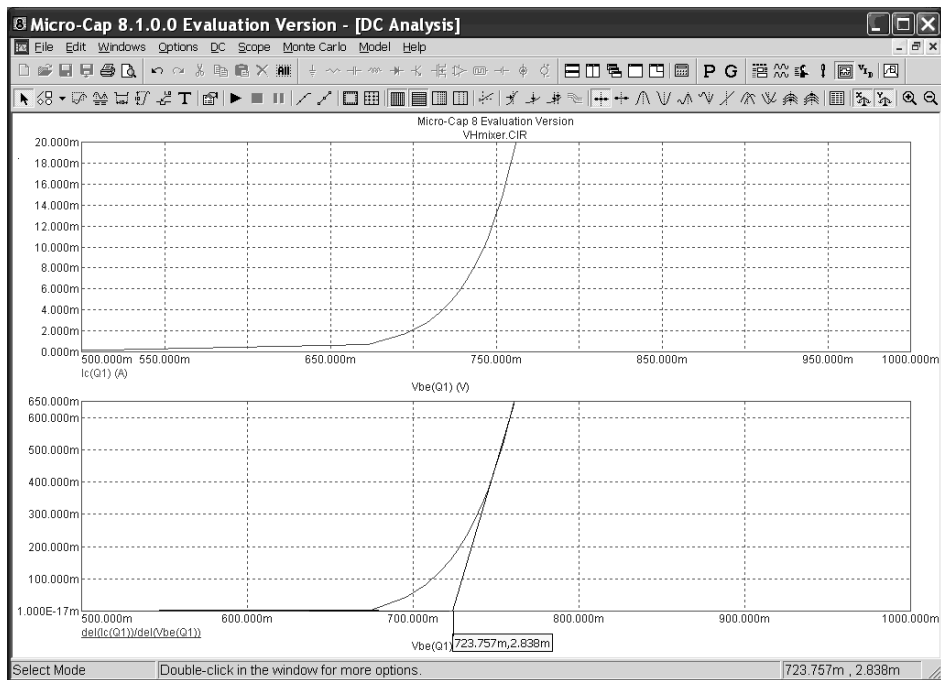


Рис. 15.20

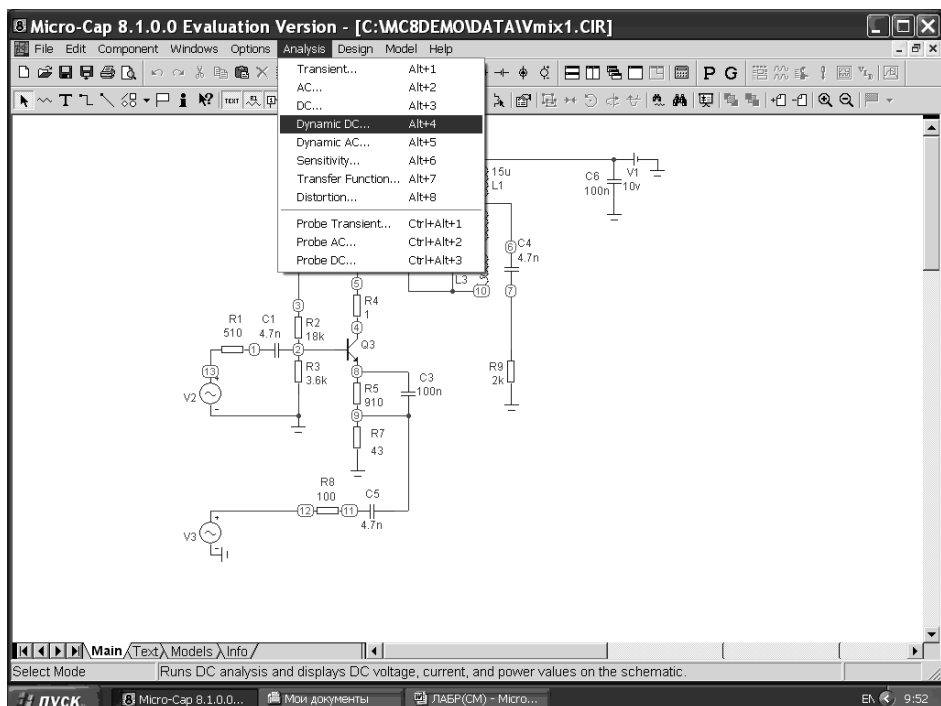


Рис. 15.21

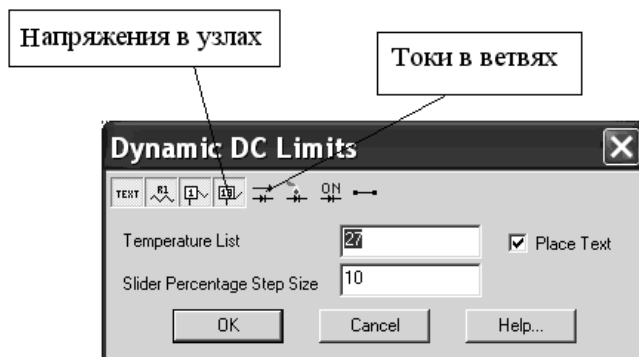


Рис. 15.22

не монитора, одновременно с величиной напряжения в узлах, значения температуры, при которой они определены.

Повторным нажатием кнопки напряжений в узлах отменяем вывод на экран монитора значений напряжений, и активизацией кнопки отображения токов в ветвях, получим значения постоянных токов, протекающих через элементы принципиальной схемы нажатием кнопки ОК (рис. 15.22). Убеждаемся (рис. 15.23) в соответствии требуемых и рассчитанных значений (при расхождении значений больше чем на 0,05 мА необходимо проверить правильность параметров введенных компонентов и их соединение).

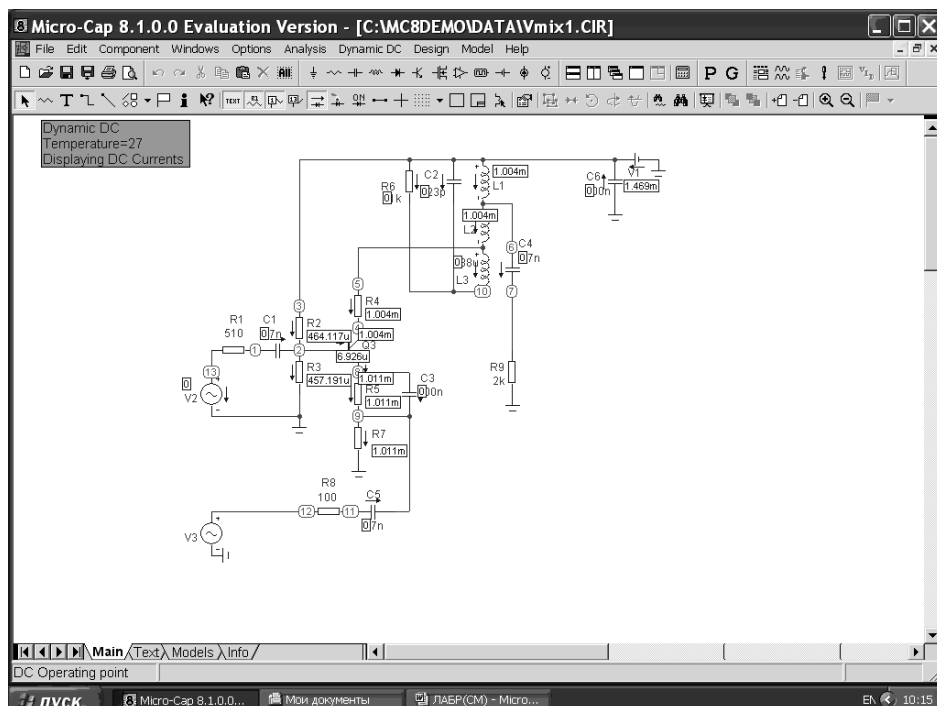


Рис. 15.23

3.3.3 Настройка резонансной системы ПрЧ

В завершение подготовительного этапа необходимо провести «настройку» контура ПрЧ на промежуточную частоту (465 кГц).

(Примечание: настройка проводится всякий раз при изменении режима работы транзистора, параметров нагрузки или внутреннего сопротивления источников гармонического сигнала).

Настройка колебательного контура на промежуточную частоту проводится с использованием АЧХ каскада в режиме усиления. Для этого принципиальная схема ПрЧ преобразуется к виду (рис. 15.24).

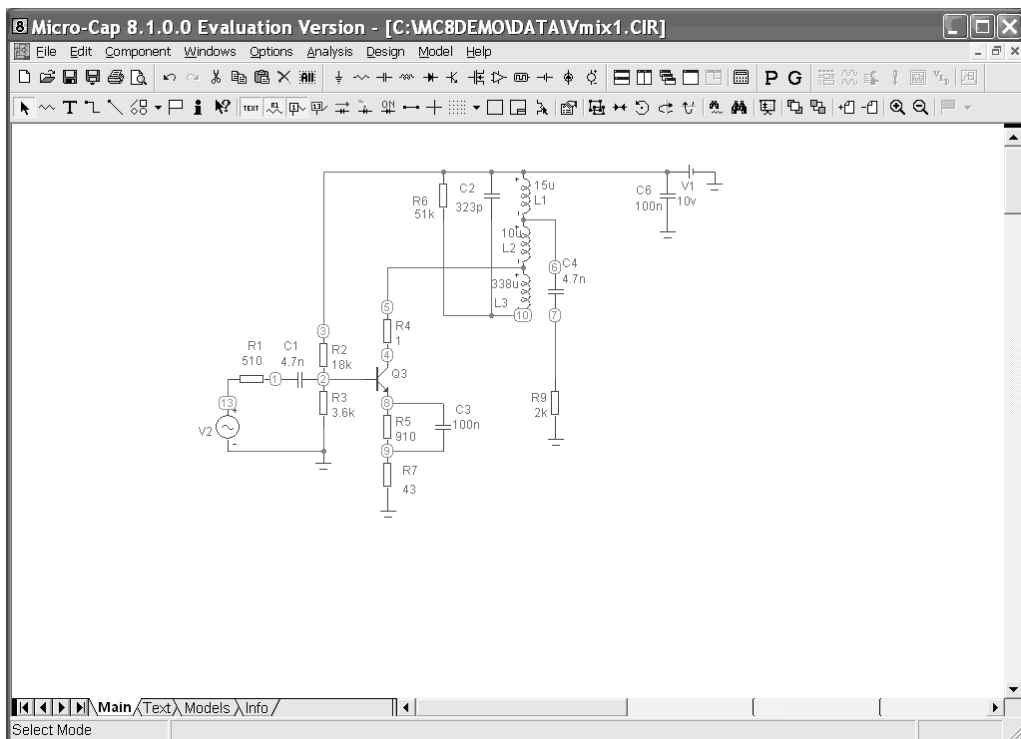


Рис. 15.24

В качестве источника входного воздействия выбирается генератор гармонического напряжения. Для этого в меню главного окна команду Component и на выпадающих вниз и вправо подменю выбрать (рис. 15.25) последовательно.

Analog Primitives → Waveform Sources → Sine Source. При нажатии левой кнопки мыши в окне схем появляется графическое изображение генератора, выполняющее роль курсора.

Установив графическое изображение генератора в нужном месте окна схем и, щелкнув левой кнопкой мыши, задают или выбирают его параметры.

Если параметры источника гармонического сигнала, описываемые в числовом массиве Source:Local text area of C:\MC8DEMO\DATA\Vmix1.CIR (рис. 15.26), отличаются от параметров, встроенных в MC8 стандартных ис-

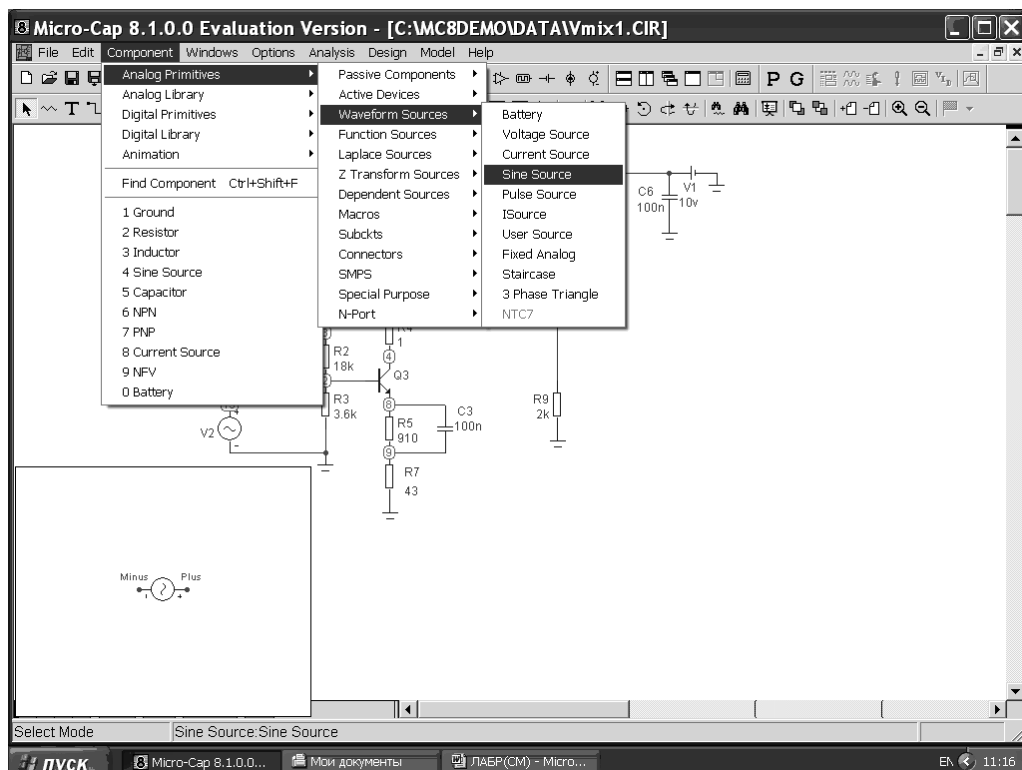


Рис. 15.25

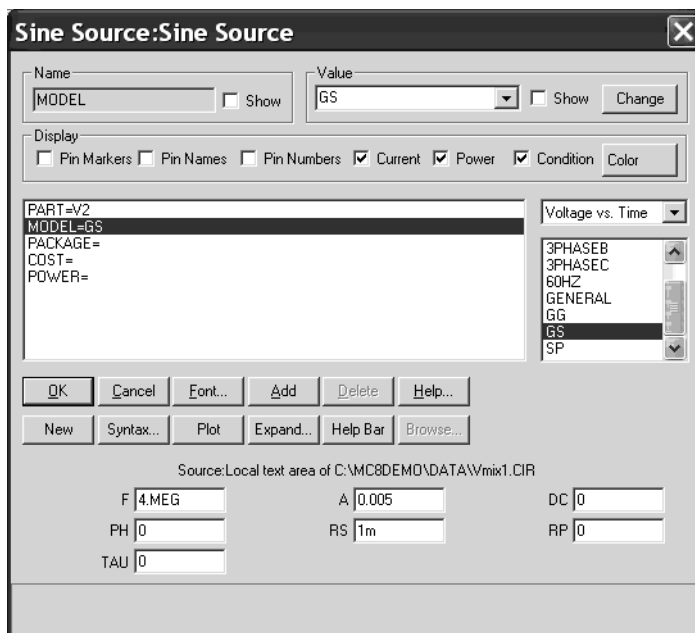


Рис. 15.26

точников, то вводится новый. Перечень встроенных стандартных источников гармонического сигнала приведен в правом столбце подменю Sine Source: Sine Source. Нажатием кнопки New источнику сигнала присваивают имя (или подтверждают название, предложенное ЭВМ): в рамке слева (Name) поочередно предлагаются атрибуты источника (позиционное обозначение Part) и предложение присвоить (или выбрать из предлагаемого в правой колонке перечня) ему (Value — рамка справа) имя V2 с возможностью отображать его в окне схем (помечается галочкой Show рядом с названием). Атрибуты источника сигнала (в рамке Name) Model, при активизации этой строки в колонке слева, задаются выбором стандартного источника из предлагаемого перечня в колонке справа. Выбираем источник GS (если вводился ранее), параметры которого высвечиваются под кнопками OK, Cancel и др. Если параметры источника вводятся впервые, то нажатием кнопки New активизируют окна параметров источника сигналов.

Одновременно в строке Value появляется подсвеченная надпись New Model, вместо которой необходимо ввести название источника сигналов (например GS) и затем ввести в текстовом файле параметры источника сигналов Source: Local text area of C:DATA\Vmxi1.CIR вместо представленных по умолчанию:

F — частоту источника сигнала в Гц;

A — амплитуду в В;

DC — постоянную составляющую напряжения в В;

PH — фазу в радианах;

RS — внутреннее сопротивление источника сигнала в Омах;

RP — период повторения в секундах;

TAU — постоянная времени изменения амплитуды сигнала по экспоненциальному закону в секундах.

Значения перечисленных параметров указаны на рис. 15.26. Коррекция параметров источника сигнала проводится аналогично коррекции параметров транзистора. Поскольку АЧХ получают для некоторой области частот, то значение частоты источника сигнала не имеет значения. В соответствии с алгоритмом расчета частотных характеристик в МС8 источнику всегда присваивают единичную амплитуду. Поэтому параметры описанного источника сигнала будут использоваться в основном при анализе свойств ПрЧ во временной области.

Завершив ввод параметров источника гармонического сигнала GS, нажимаем кнопку OK и переходим в режим анализа частотных характеристик усилителя.

Для этого в меню главного окна выбираем команду Analysis и, в выпадающем подменю, программу анализа частотных свойств АС (рис. 15.27) усилителя.

Нажатием левой кнопки мыши переходят к заданию пределов анализа, способа проведения анализа и представления на экране монитора результатов анализа.

В окне AC Analysis Limits (рис. 15.26) задается следующая информация:

Frequency range — значения верхнего и нижнего пределов частот анализа;

Number of Points — количество точек в заданном частотном интервале, в котором производится расчет частотных характеристик и полученные значения выводятся в форме таблицы (если это указывается);

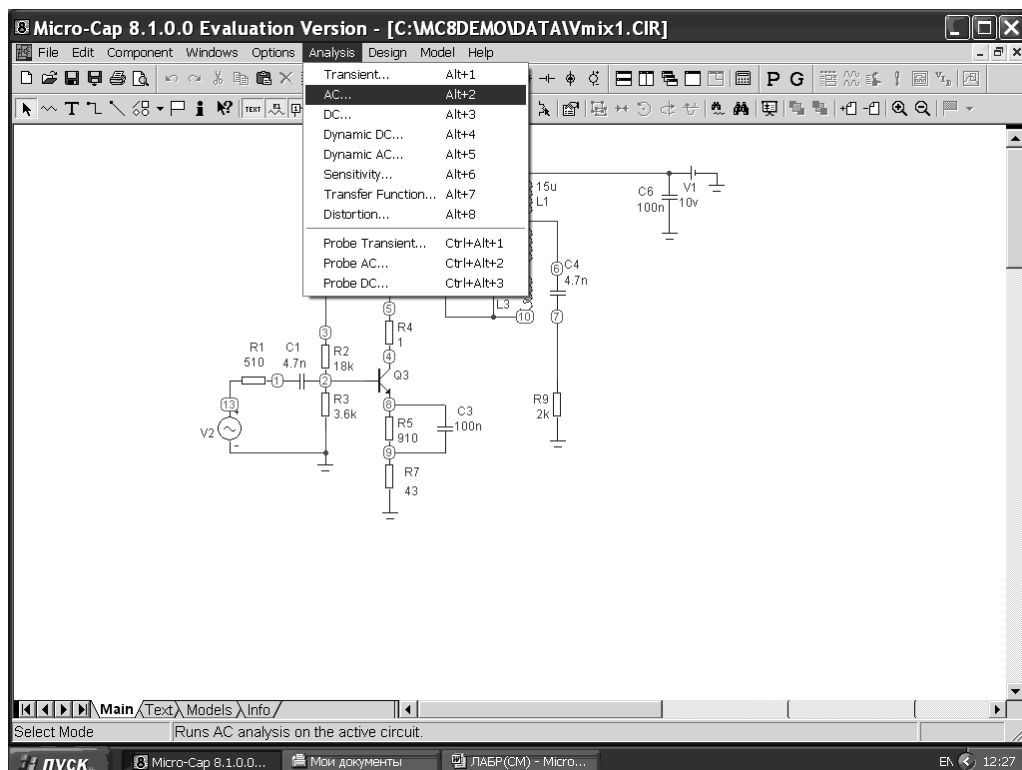
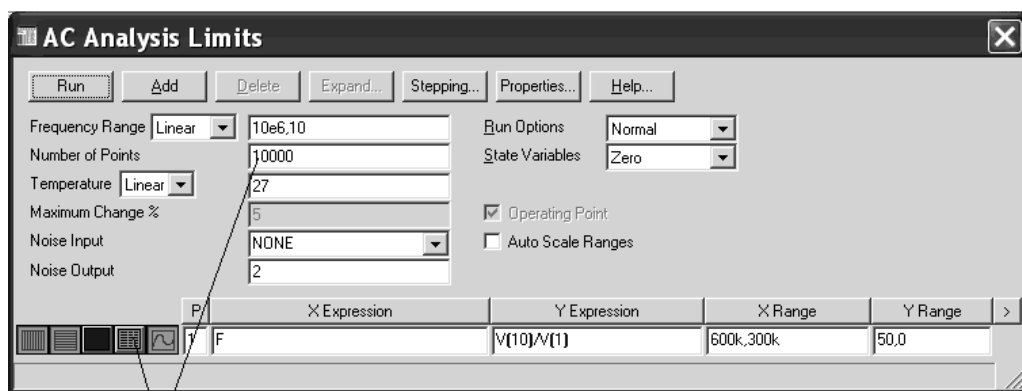


Рис. 15.27



Количество точек, выводимых на печать

Рис. 15.28

Temperature — диапазон изменения температур (может задаваться одно значение, при которой проводится анализ);

Maximum Change — максимально допустимое приращение функции на интервале шага по частоте (учитывается только при автоматическом выборе шага — активизация процедуры Auto Scale Ranges);

Noise Input — имя источника шума, подключенного ко входу усилителя;
 Noise Output — номер(а) выходных зажимов, где вычисляется спектральная плотность напряжения шума;

Run Options — определяет способ хранения полученных результатов:

Normal — результаты расчетов не сохраняются;

Save — результаты сохраняются на жестком диске;

Retrieve — использование результатов расчета, хранящегося на жестком диске для вывода на экран монитора;

State Variables — задание начальных условий интегрирования.

На экран монитора в соответствии с рис. 15.28 выводится частотная зависимость коэффициента усиления по напряжению (YExpression) в узле 10. Область частот (XExpression), в которой проводится анализ, определяется форматом: максимальное значение выводимой переменной, ее минимальное значение и шаг сетки значений. Аналогично задаются условия при выводе на экран монитора значений коэффициента усиления. Характер изменения значений по осям — линейный, что выбирается нажатием двух левых крайних кнопок в каждой строке выводимых значений. Для выбранных условий анализа, определенных рис. 15.28, производят расчет АЧХ усилителя, нажатием кнопки Run.

Как видно из рис. 15.29, резонансная частота резонансного усилителя, отличается от 465 кГц (точное значение максимума АЧХ находится следующим образом: нажимается кнопка Peak, курсор располагается вблизи вершины

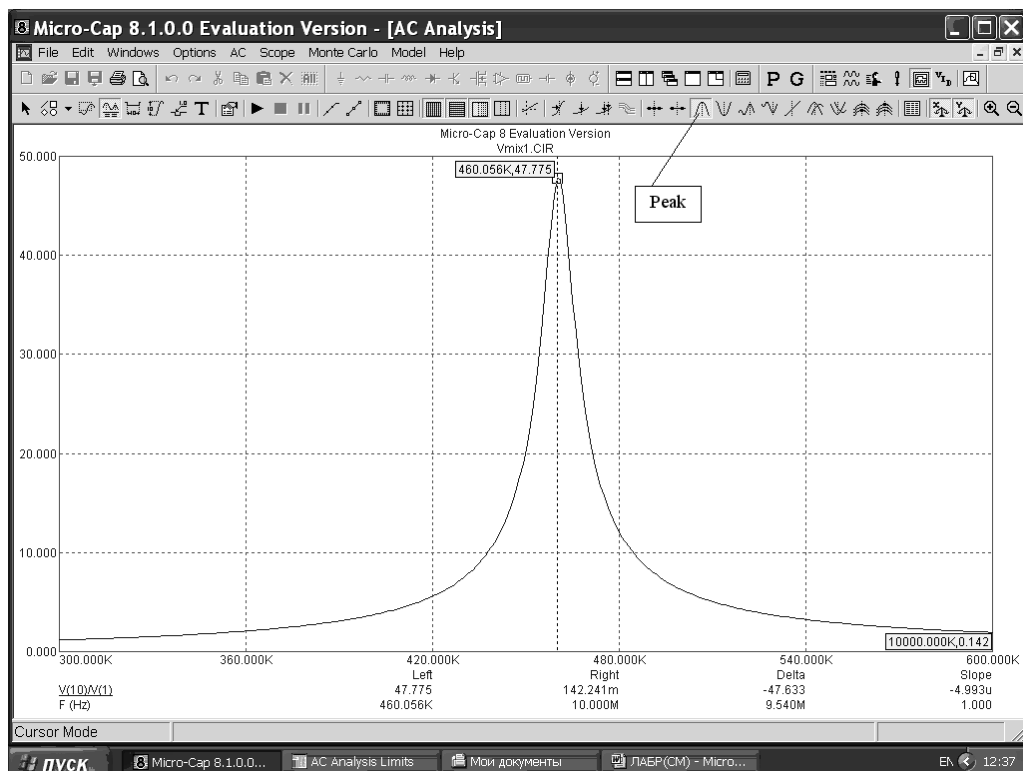


Рис. 15.29

АЧХ и еще раз нажимается кнопка Peak). Подстройка резонансной частоты осуществляется использованием подрежима Stepping в окне AC Analysis Limits последовательным выбором AC → Stepping рис. 15.30.

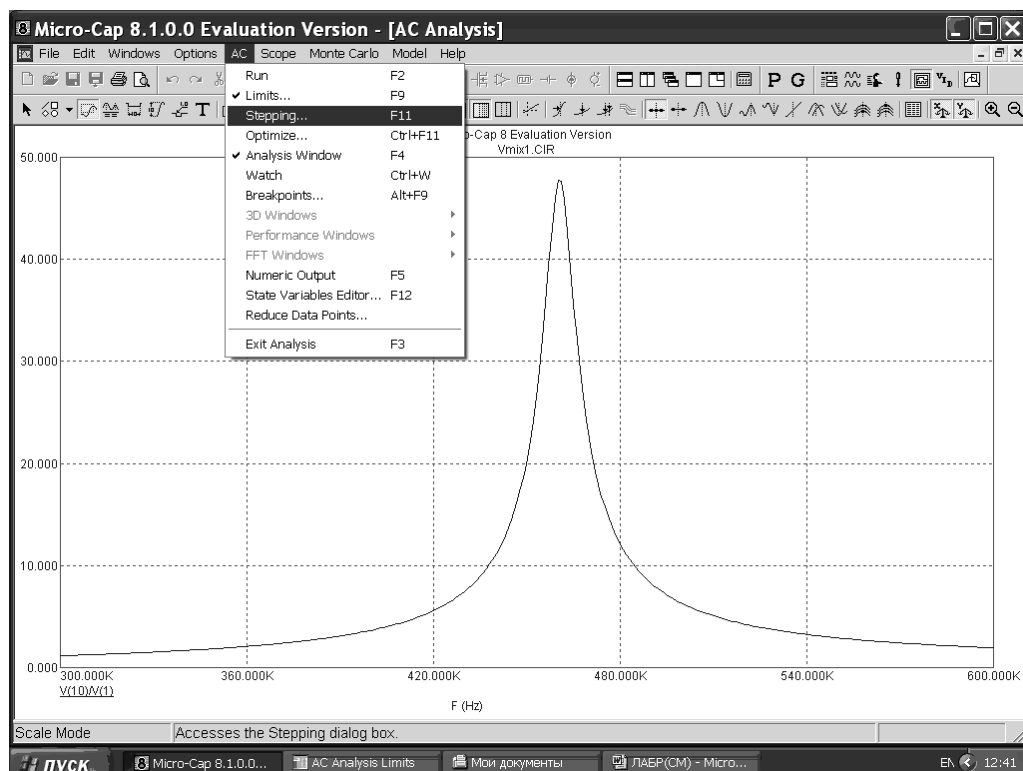


Рис. 15.30

Активизацией кнопки Stepping переходят в режим многовариантного анализа, позволяющего в расширенной версии MC8 изменять параметры активных и пассивных компонентов, параметры зависимых и независимых источников сигналов.

При этом могут одновременно изменяться до двадцати параметров. В ниспадающем меню рис. 15.31 выбор варьируемого компонента осуществляется с использованием разворачивающегося вниз меню при нажатии на кнопку в строке Step What. Нажатием на левую кнопку мыши производим выбор компонента и затем указываем нижний (From) и верхний (To) пределы его изменения и величину шага (Step Value).

Затем в рамке (Step It), нажимая на кнопку Yes, подтверждаем вариацию параметров выбранного компонента. В рамке Method отмечаем кнопкой закон изменения (Linear — линейный, Log — логарифмический или List в соответствии со списком). В рамке Parameter Type кнопкой помечаем вид варьируемого элемента: Component — компонент или Model-модель.

В рамке Change (изменение) выбирается (помечается точкой) способ изменения шага при вариации параметра элементов: только во вложенных цик-

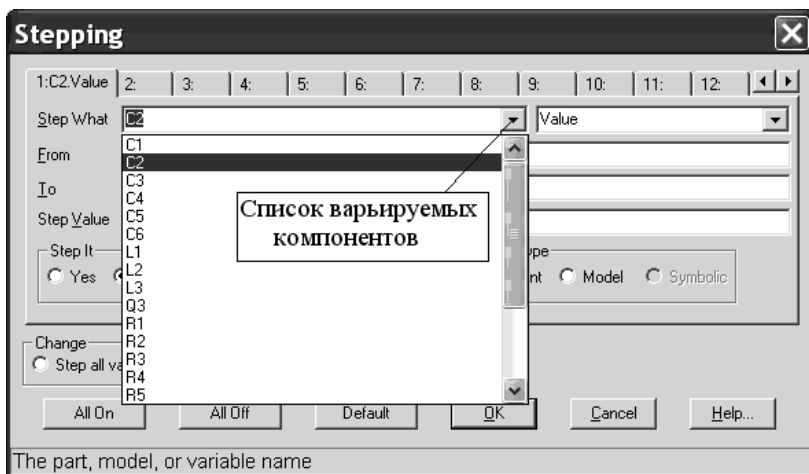


Рис. 15.31

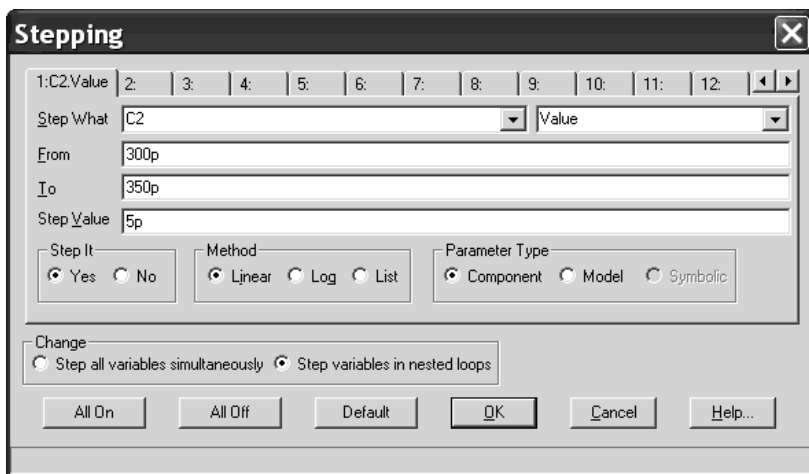


Рис. 15.32

лах программы (Step variables in nested loops) или всех подлежащих изменению параметров одновременно (Step all variables simultaneously). В первом случае существует возможность независимого выбора шага для каждого параметра. Во втором случае необходимо изменять варьируемые параметры с одинаковым шагом, что ограничивает анализ всего одним возможным вариантом. Кнопки в нижнем ряду All On, All Off включают режим варьирования (Step It) перечисленных на всех закладках в режиме Stepping параметров. Кнопка Default предлагает, как возможные, использовать текущие (наименьшее и наибольшее и шаг) значения варьируемого параметра. Подтверждение выбранного режима и вход в режим анализа осуществляется нажатием кнопки OK.

Для варианта значений емкости C2, указанного на рис. 15.31 получается семейство рис. 15.33 кривых (последовательно войдя в режим AC и затем Run, рис. 15.28).

Для определения C_2 , при которой положение максимума резонансной кривой находится ближе всего к частоте входного сигнала (465 кГц) необходимо (рис. 15.33) нажать на пиктограмму Peak, чтобы определить максимум кривой для минимального значения емкости C_2 , а затем передвигая курсор по вершинам кривых выбрать ближайшую кривую, у которой значение максимума ближе всего к 465 кГц. Маркер при этом указывает значение емкости, соответствующее этой кривой. Нажав на пиктограмму Go To Branch (перейти на кривую) на выпадающем подменю Go To Branch рис. 15.34, нажатием на кнопку изменения размера окна, выбрать значение емкости C_2 (подсвеченной строкой окна C2 Value) и, нажатием на кнопку Right, указать, что положение правого маркера будет определяться на кривой, соответствующей этой емкости.

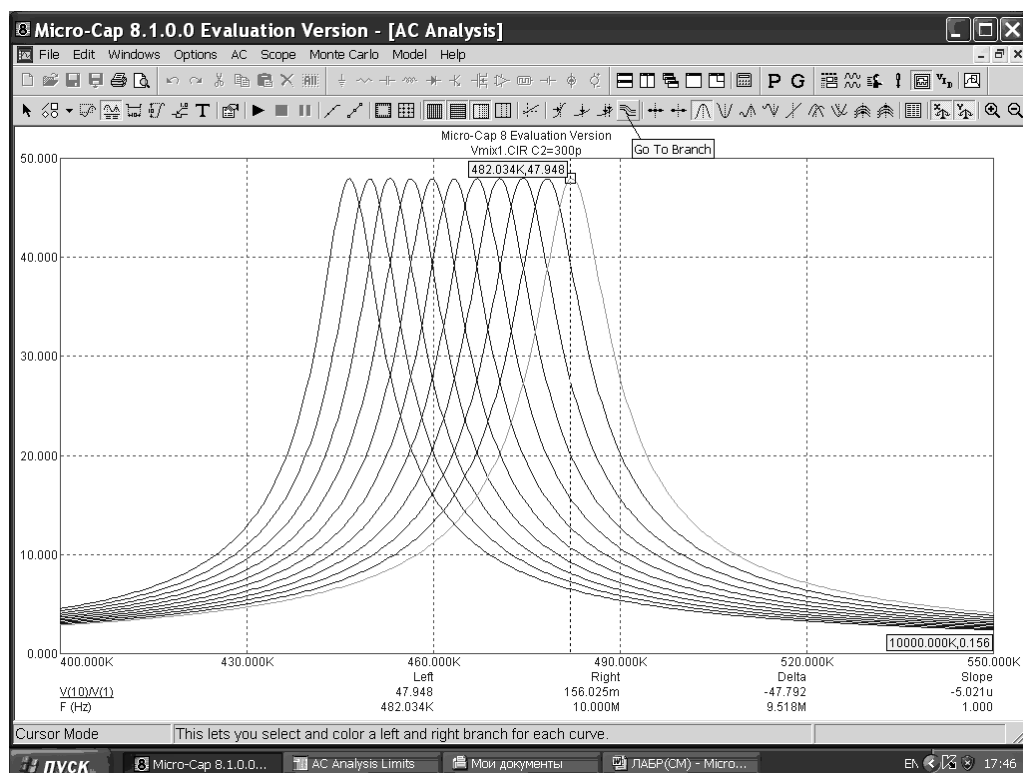


Рис. 15.33

Закрыв подменю (нажав кнопку Clouse) разместить курсор левее вершины выбранной кривой и нажать правую кнопку. Маркер укажет коэффициент передачи для некоторой частоты. Затем, подведя курсор на пиктограмму Peak, и нажав левую кнопку мыши, получаем рис. 15.35 значение коэффициента передачи на резонансной частоте для выбранного значения C_2 .

Если значение резонансной частоты отличается больше чем на ± 1 кГц от 465 кГц, то необходимо изменить параметры подменю Stepping, задавая меньшие пределы изменения емкости конденсатора C_2 и меньший шаг рис. 15.36.

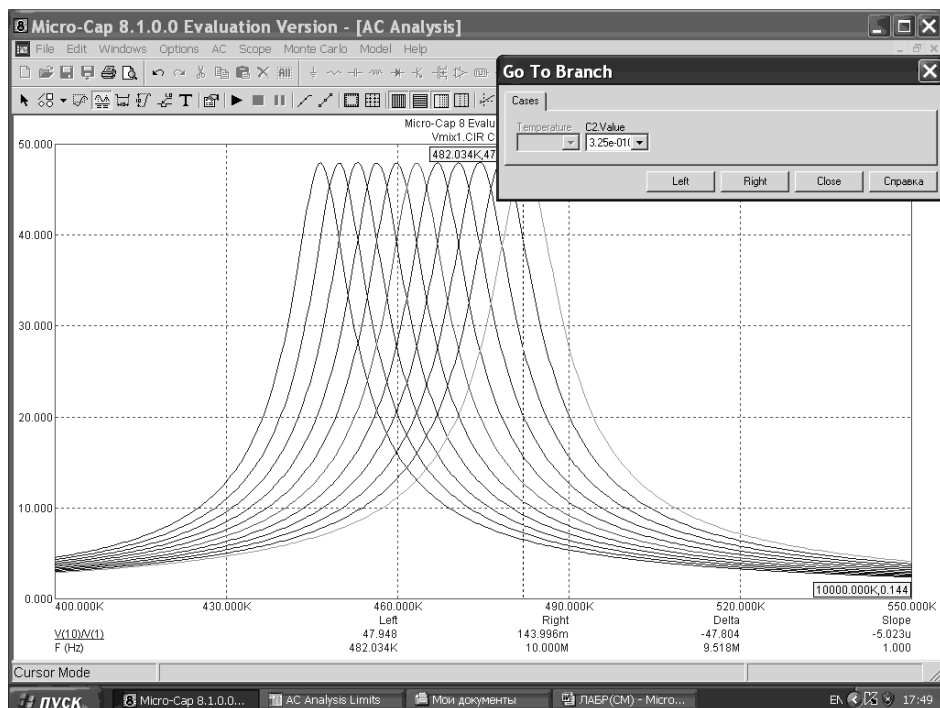


Рис. 15.34

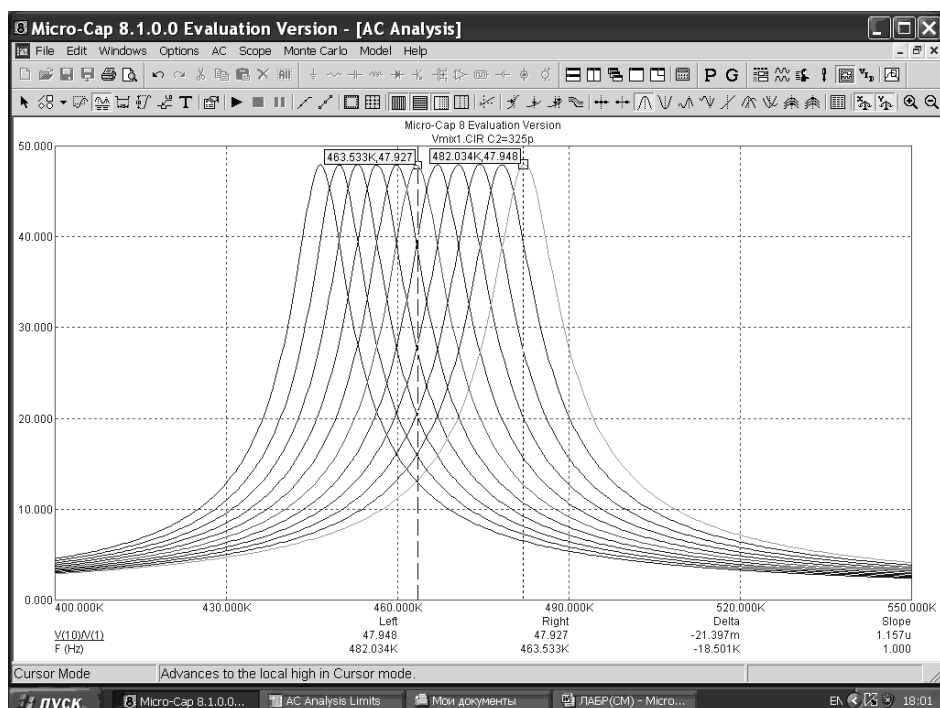


Рис. 15.35

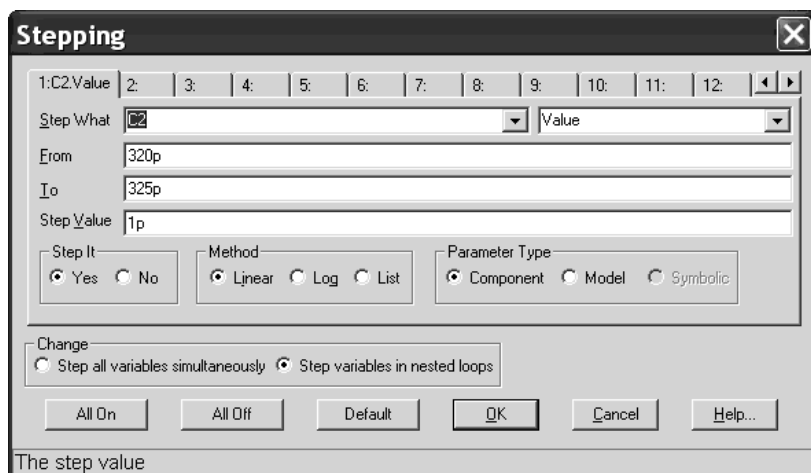


Рис. 15.36

Одновременно приходится изменять и пределы анализа рис. 15.37 для того, чтобы можно было выделить кривые, соответствующие различным значениям емкости $C2$ рис. 15.38.

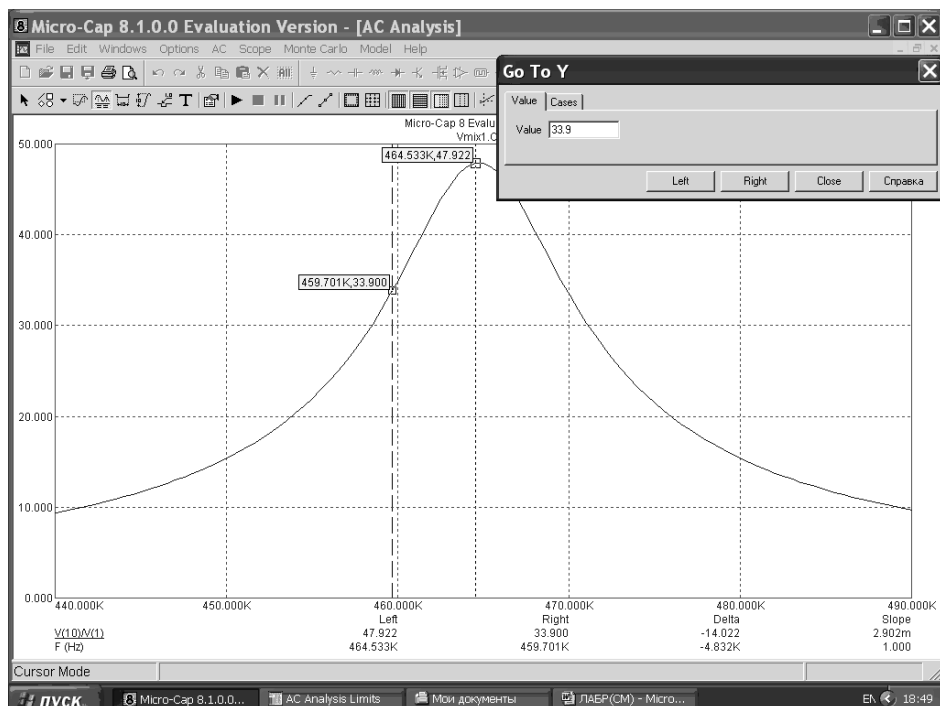
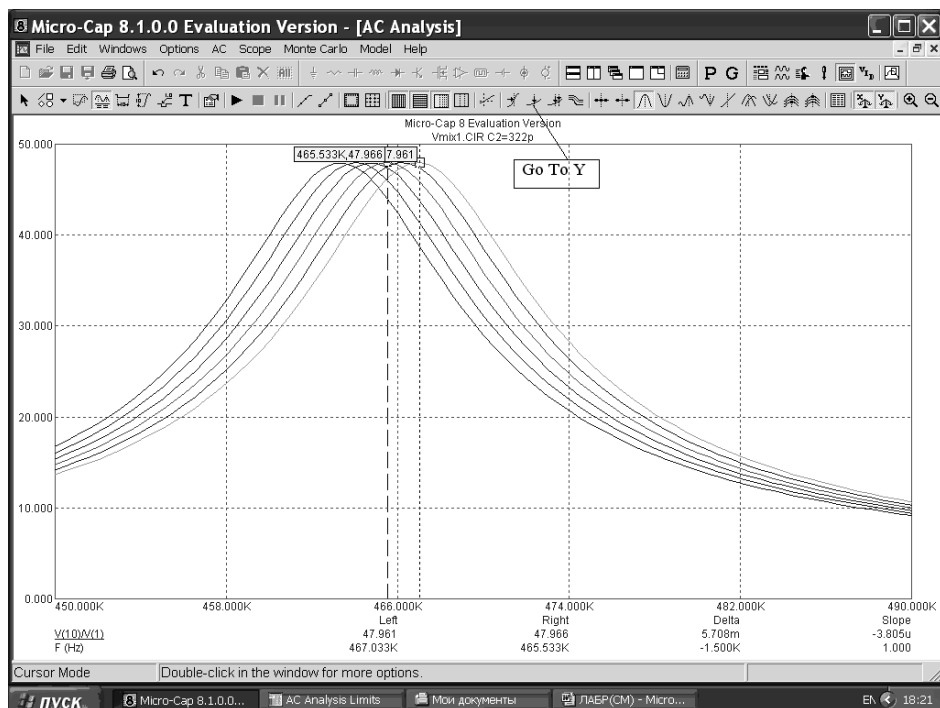


Рис. 15.37

Получив значение резонансной частоты, удовлетворяющее требуемой точности, устанавливаем соответствующий ему конденсатор вместо существовавшего в начале эксперимента (вначале удаляется конденсатор $C2$ и затем включается уточненное значение $C2$ по итогам Stepping). Установив новое значение конденсатора $C2$ выходят из режима варьирования его значения последовательно выполнив команды $AC \rightarrow AC\ Analysis\ Limits \rightarrow Stepping \rightarrow No$ (в рамке Step It подменю Stepping, рис. (15.36).

Для уточненного значения емкости контура $C2$ оценим полосу пропускания (рис. 15.39) по уровню $0,707K_{\text{макс}}$.

Для этого, определив значение коэффициента усиления в точке максимума $K_{\text{макс}}$, вычисляем коэффициент усиления на границе полосы пропускания $0,707K_{\text{макс}}$. Нажатием на пиктограмму Go To Y (в окне результатов вычисле-



ний, рис. 15.38) в окне выпадающего Value подменю Go To Y (рис. 15.39) вводим значение $0,707K_{\text{макс}}$ и нажимаем на кнопку Left. Маркер определяет положение граничной частоты справа от резонансной. Затем, вновь активируя окно Value, и указывая такое же значение граничного уровня коэффициента усиления, нажатием левой кнопкой мыши на кнопку Right подменю Go To Y, получаем значение нижней граничной частоты. Нижняя строка в окне результатов указывает значения граничных частот и величину полосы пропускания (Delta).

Для выполнения п. 2.2.3 задания проанализируйте возможность использования принципиальной схемы (рис. 15.56), для чего проверить режим транзистора по постоянному току и получить АЧХ преобразователя частоты в режиме усиления, обеспечив $f_{\text{пр}} = 465 \pm 0,1$ кГц.

В отчете к лабораторной работе приведите распечатку принципиальной схемы с уточненными значениями компонентов (аналог рис. 15.24) и АЧХ настроенного усилителя (аналог рис. 15.39) для угла отсечки $\Theta = 90^\circ$.

3.3.4 Исследование свойств ПрЧ

Включая в базовую цепь транзистора первого каскада источник сигнала с частотой 4 МГц, а в эмиттерную цепь — источник напряжения гетеродина с частотой 4,465 МГц при наличии в коллекторной цепи колебательного контура, настроенного на частоту 465 кГц, обеспечиваем работу транзистора Q3 в режиме смесителя (рис. 15.1).

Параметры источника входного (V2) воздействия приведены на рис. 15.26 (GS), а источника напряжения гетеродина (V3) на рис. 15.40 (GG).

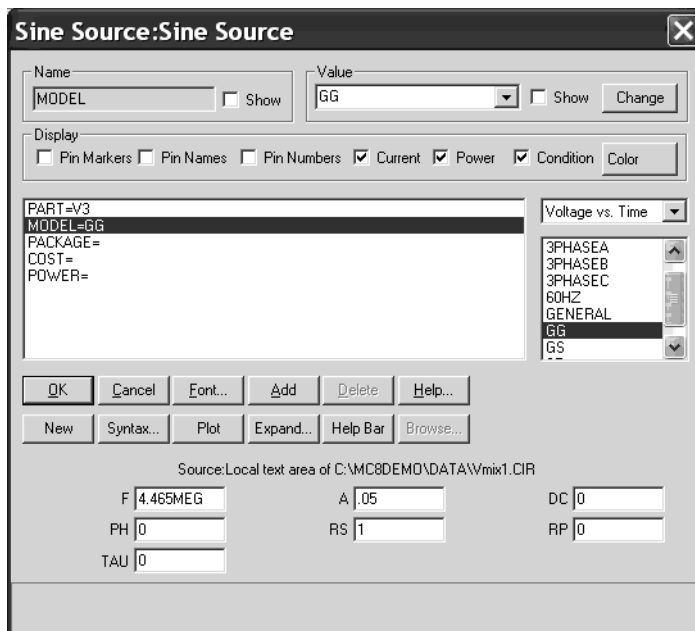


Рис. 15.40

Выбранные параметры источников гармонического напряжения обеспечивают линейный режим работы преобразователя для напряжения с частотой входного сигнала и нелинейный режим для напряжения гетеродина. Исследование свойств ПрЧ проводится во временной области для режима транзистора по постоянному току, представленному на рис. (15.23).

В режим анализа переходных характеристик входят используя в меню главного окна команду Analysis и подменю Transient (рис. 15.41) или сочетанием клавиш Alt+1.

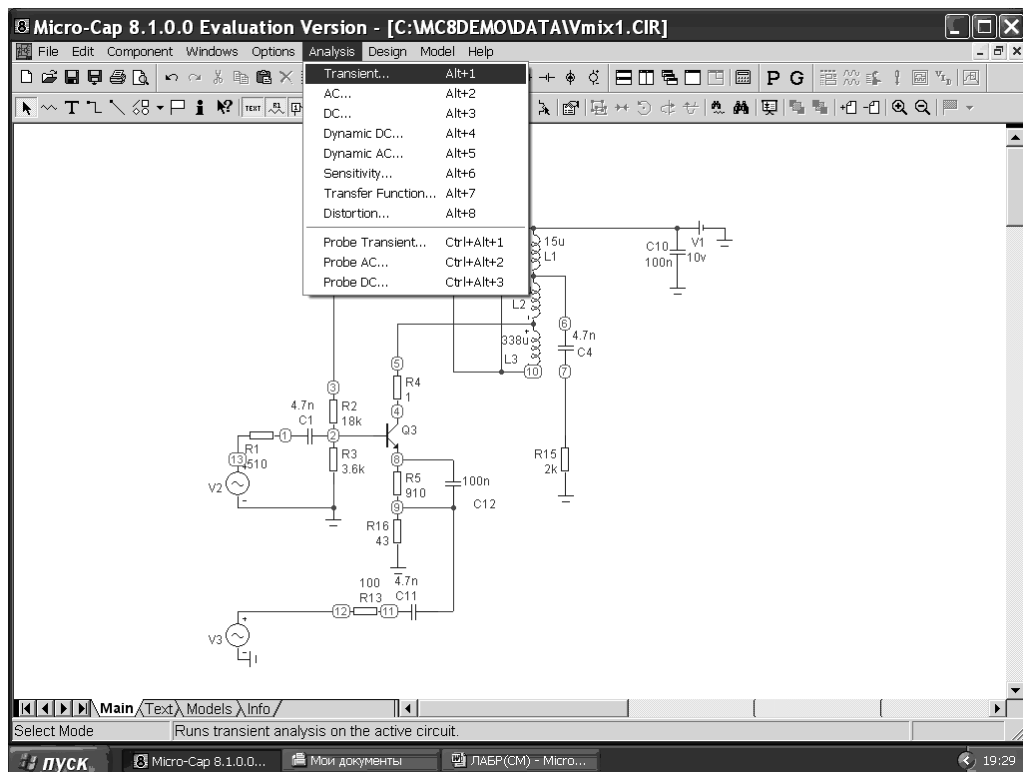


Рис. 15.41

Выбрав курсором строку Transient и, нажав левую кнопку мыши, переходим в подменю Transient Analysis Limits (рис. 15.42) к заданию параметров моделирования.

Кнопки сверху подменю Transient Analysis Limits обозначают:

Run — вход в режим анализа (запуск процесса моделирования);

Add — добавление строки в перечень результатов, выводимых на экран монитора, или в виде распечатки в форме таблицы;

Delete — удаление строки, помеченной курсором, из числа выводимых на экран или в виде распечатки;

Expand — увеличивать объем текстовой информации в месте нахождения курсора;

Stepping — переход в режим варьирования параметра (компонента, модели);

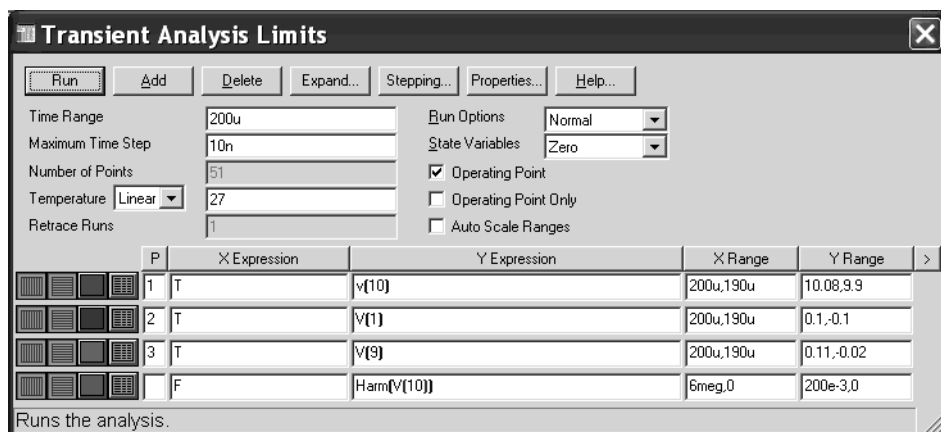


Рис. 15.42

Propertyis — позволяет изменять параметры выводимой на монитор информации, принятые по умолчанию;

Help — обращение к описанию системы схемотехнического проектирования MC8.

Слева под строкой панелей вводятся числовые параметры:

Time Range — указывается конечное и начальное время расчета переходных характеристик (начальное время расчета по умолчанию принимается равным нулю);

Maximum Time Step — величина максимального шага интегрирования. Текущее значение переменного шага интегрирования определяется величиной допустимой относительной ошибки;

Number of Points — количество точек, выводимых в виде таблицы (по умолчанию принимается равными 51). Изменение количества выводимых точек достигается нажатием на пиктограмму вывода числовых результатов рис. 15.28.

Нажатием на эту кнопку в текстовый выходной файл заносится таблица отсчетов функции, заданной в графе YExpression.

В столбце справа под строкой панелей располагаются опции управления результатами расчетов.

Run Options — определяют режимы:

Normal — результаты расчета не сохраняются;

Save — результаты сохраняются в бинарном файле формата: <имя файла>.TSA;

Retrieve — используются результаты, сохраненные ранее в бинарном файле, для построения графиков и вывода в форме таблиц (без нового расчета).

State Variables — установка начальных значений позволяет:

Zero — выбирать в качестве начальных значений нулевые потенциалы в узлах и токи через индуктивности;

Read — использовать в качестве начальных значения, взятые из бинарного файла формата <имя схемы>.TOP, создаваемого перед каждым вариантом расчета;

Leave — задание в качестве начальных условий результатов предыдущего расчета.

Нажатие на кнопку Operation Point обеспечивает выполнение расчета по постоянному току перед каждым расчетом переходных процессов.

В режиме Operating Point Only — производится расчет только по постоянному току.

Щелчок по кнопке Auto Scale Ranges обеспечивает автоматический выбор масштабирования по осям.

Условия, определяющие представление результатов моделирования в частотной области, задаются в нижней части диалогового окна Transient Analysis Limits.

Левее таблиц, определяющих выражения и пределы представляемых кривых на экране монитора, расположены кнопки, задающие изменение переменной по осям X и Y по линейному или логарифмическому закону. Выбор происходит при нажатии на соответствующую кнопку (крайнюю левую или вторую). Нажатием на следующую кнопку (Color) на выпадающем меню выбираем цвет выводимой на экран кривой (название кнопки высвечивается при подведении курсора к кнопке).

В колонке P (Plot Group) указывается номер графического окна, в котором будет построена кривая. При одновременном представлении нескольких кривых в одной системе координат, масштаб выбирается автоматически по наибольшему значению из выводимых переменных.

В колонке X Expression указывается имя переменной, откладываемой по оси X.

При изучении переходных характеристик это время (T), при расчете спектра сигнала с помощью преобразования Фурье или при построении амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) — это частота (F).

В колонке Y Expression приводится выражение, откладываемое по оси Y. Это может быть просто напряжение в каком-либо узле, ток через какой-либо элемент или между какими-то узлами, а так же целое выражение. Щелчком правой кнопки мыши на всплывающем меню можно выбрать тип переменной и форму его представления.

В колонке X Range указываются максимальное и минимальное значения переменной X на графике.

В колонке Y Range задается максимальное и минимальное значения переменной Y на графике; если минимальное равно нулю, то его можно не указывать.

Как видно из рис. 15.43, нестационарный участок переходных характеристик в начале процесса моделирования, на экран не выводится. Форма сигнала на базовом выводе транзистора (входной сигнал), на эмиттерном выводе (напряжение гетеродина) и напряжение промежуточной частоты на колебательном контуре для параметров генераторов, описанных на подменю рис. 15.26 и рис. 15.40, представлены на рис. 15.43.

Для определения спектра преобразованного напряжения на контуре ПрЧ в подменю Transient Analysis Limits воспользуемся быстрым преобразованием Фурье (рис. 15.44).

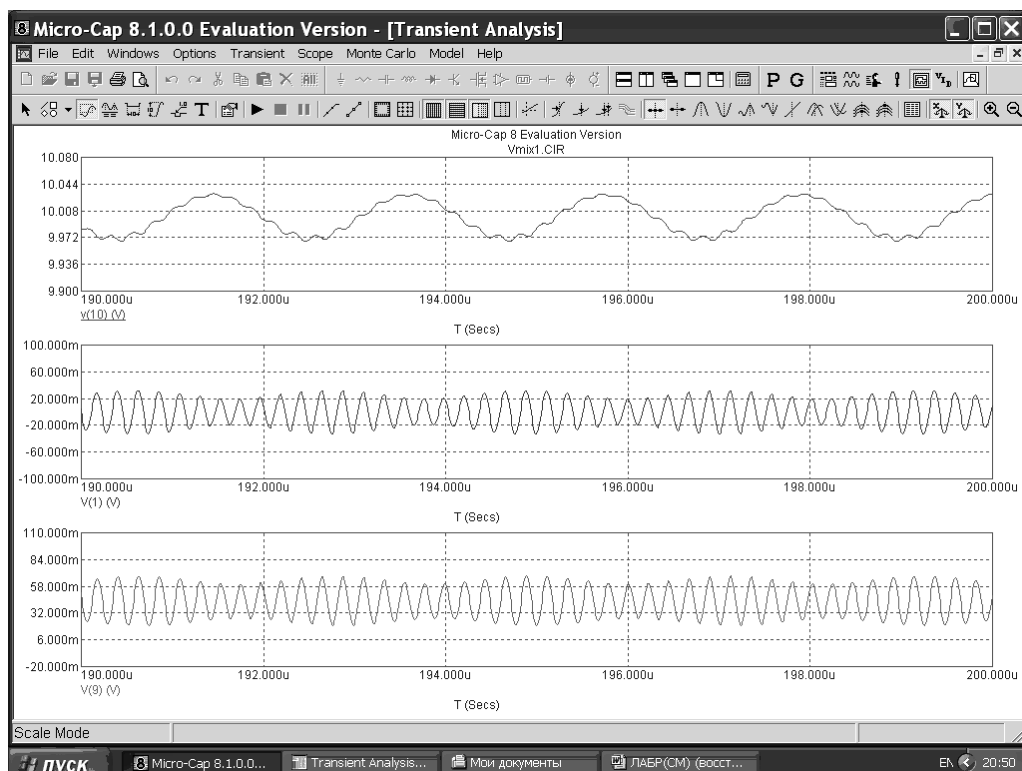


Рис. 15.43

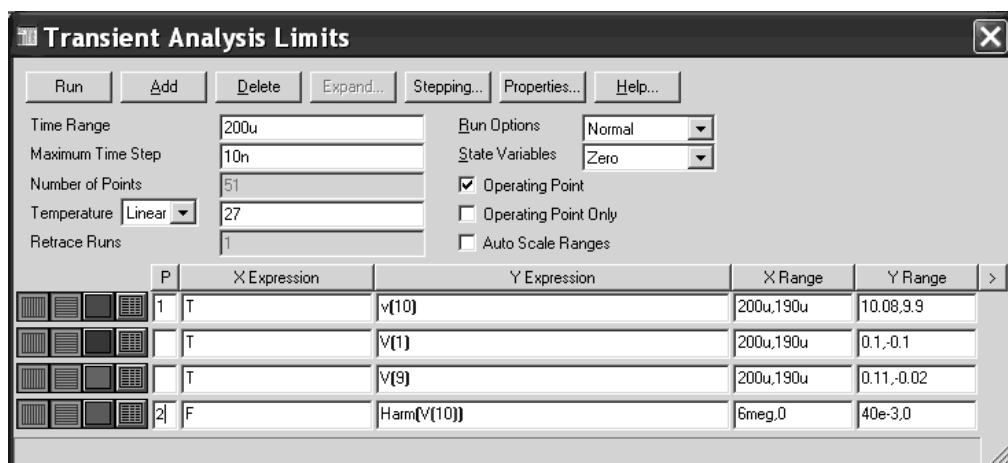


Рис. 15.44

Результаты моделирования представлены на рис. 15.45.

Для выполнения п. 2.2.3 необходимо для постоянных значений амплитуд напряжения сигнала и гетеродина, заданных рис. 15.26, рис. 15.40, необходимо обеспечить режим работы транзистора, соответствующий $\Theta = 90^\circ$. Затем,

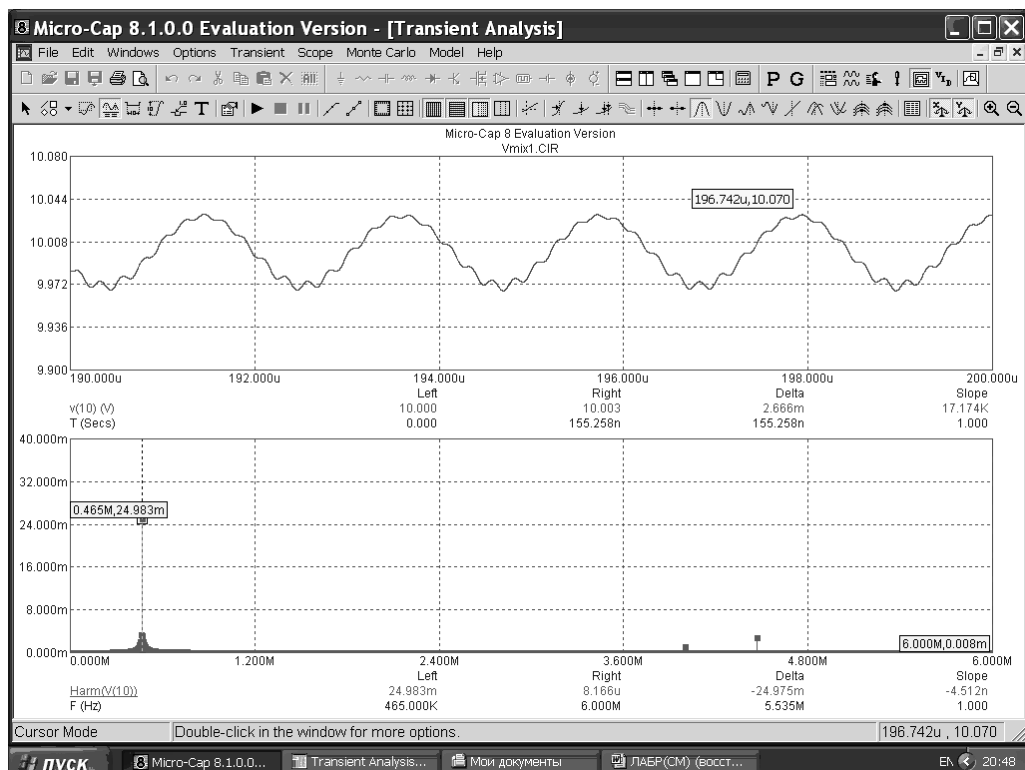


Рис. 15.45

входя в режим редактирования параметров генератора сигнала (рис. 15.40), последовательно устанавливать значения частоты генератора:

465 кГц, $f_1 \pm 465$ кГц, $2f_1 \pm 465$ кГц, соответствующие наиболее влияющим побочным каналам приема.

Анализ проводится во временной области, для чего в меню главного окна последовательно выбирают: Analysis → Transient → Transient Analysis Limits. В качестве выходного параметра выбирают амплитуду первой гармоники напряжения промежуточной частоты на колебательном контуре ПрЧ рис. 15.44. Результаты вычисления заносятся в таблицу 1.

Таблица 1

Амплитуда напряжения промежуточной частоты	Частота побочного канала приема, Гц				
$U_{пч}$, В					

Определим оптимальное значение амплитуды напряжения гетеродина, построив зависимость амплитуды напряжения промежуточной частоты на выходе ПрЧ от амплитуды напряжения гетеродина, для выбранного режима работы транзистора по постоянному току (см. рис. 15.23) и амплитуды вход-

ного сигнала $U_c = 5$ мВ. Выполнив последовательно в главном окне команды: Analysis → Transient, войдем в подменю задания пределов анализа во временной области Transient Analysis Limits (рис. 15.46).

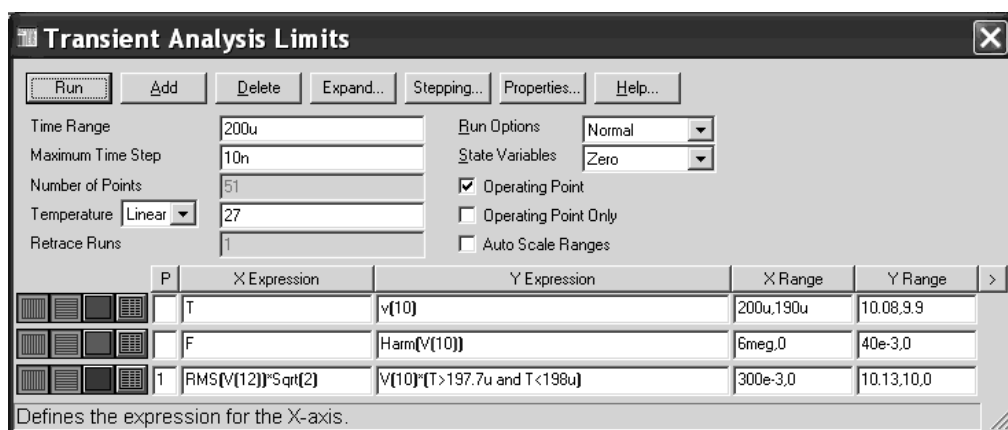


Рис. 15.46

В качестве переменной, изменяющейся по оси абсцисс, выберем значение амплитуды напряжения гетеродина, а по оси ординат — величину напряжения на контуре в достаточно малом интервале времени, соответствующее наибольшему значению (см. рис. 15.45). Пределы изменения выходного напряжения (в узле 10) выбраны с учетом постоянной составляющей напряжения на коллекторе транзистора (активизация кнопки Node Voltages — напряжения в узлах рис. 15.22).

Нажав на кнопку Stepping, подменю Transient Analysis Limits, войдем в режим варьирования компонентов. В левом раскрывающемся окне выберем V3, активизировав строку левой кнопкой мыши (рис. 15.47), а в правом — A — значение амплитуды напряжения гетеродина (рис. 15.48).

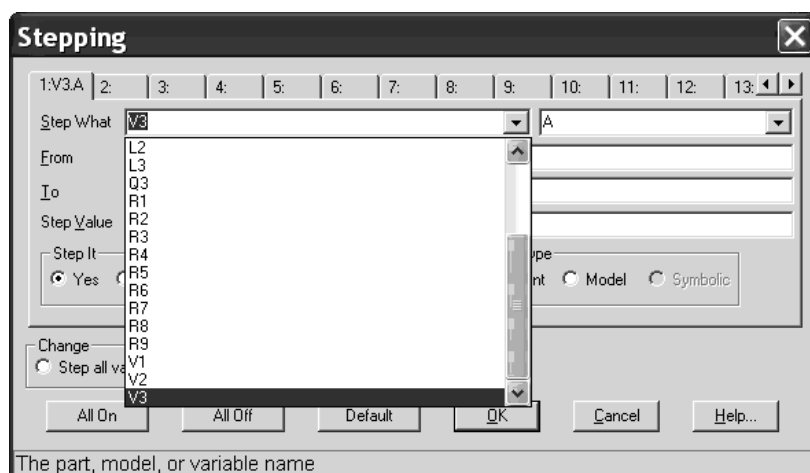


Рис. 15.47

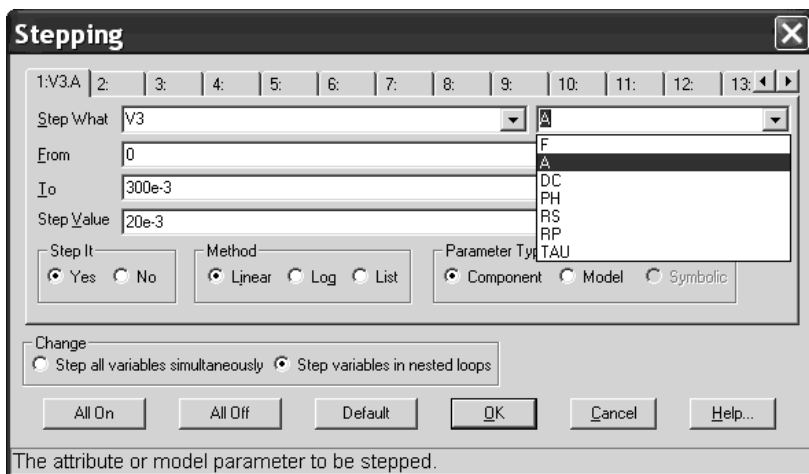


Рис. 15.48

Результатом вычисления (рис. 15.49) является дискретная зависимость, указывающая на существование оптимального значения амплитуды напряжения гетеродина, создающего наибольшее выходное напряжение промежуточной частоты. Соединив плавной кривой вершины графика на рис. 15.49 выбе-

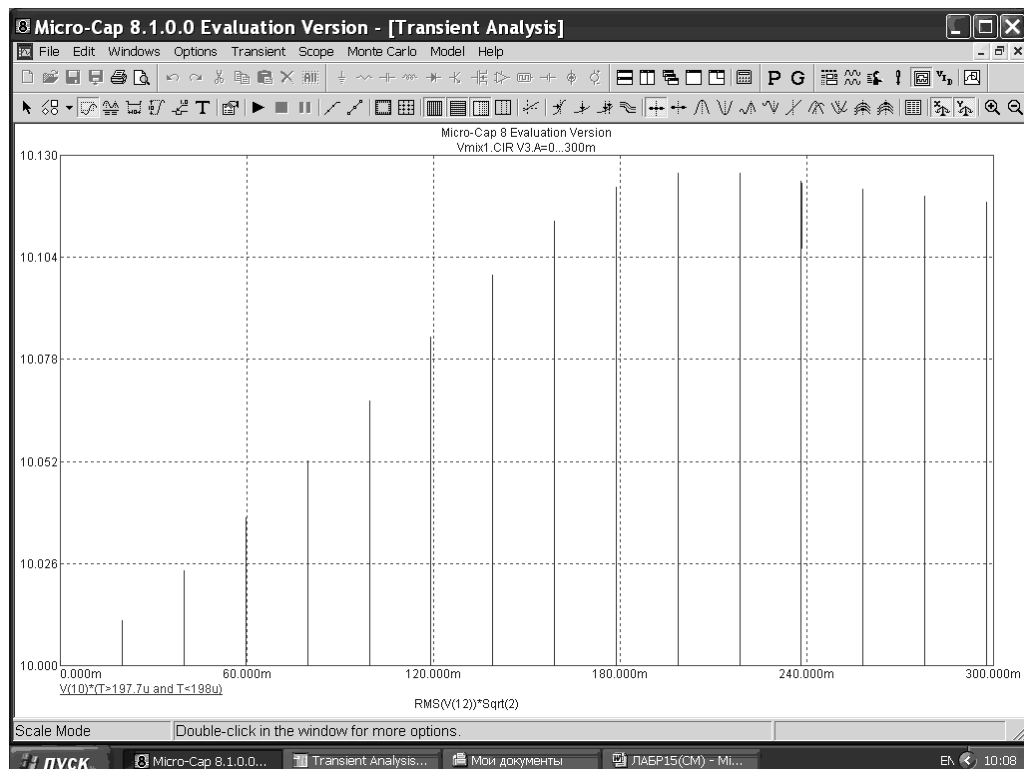


Рис. 15.49

рем оптимальное значение амплитуды напряжения гетеродина напряжение, обеспечивающее максимум напряжения на выходе ПрЧ.

Для выполнения п. 2.2.4 необходимо обеспечить режим работы транзистора, соответствующий углу отсечки $\Theta = 90^\circ$. Амплитуду напряжения генератора сигнала выбрать $U_c = 0,005$ В.

Аналогичный эксперимент, проведенный для изучения влияния изменения амплитуды напряжения сигнала на выходное напряжение, показан на рис. 15.50—15.52.

Для выполнения п. 2.2.5 необходимо обеспечить режим работы транзистора, соответствующий углу отсечки $\Theta = 90^\circ$, и амплитуде напряжения гетеродина $U_r = 50$ мВ.

Для исследования влияния амплитуды сигнала на возникновение дополнительных побочных каналов приема на вход ПрЧ включим генератор V4 с частотой, соответствующей частоте полужеркального канала. Остальные пара-

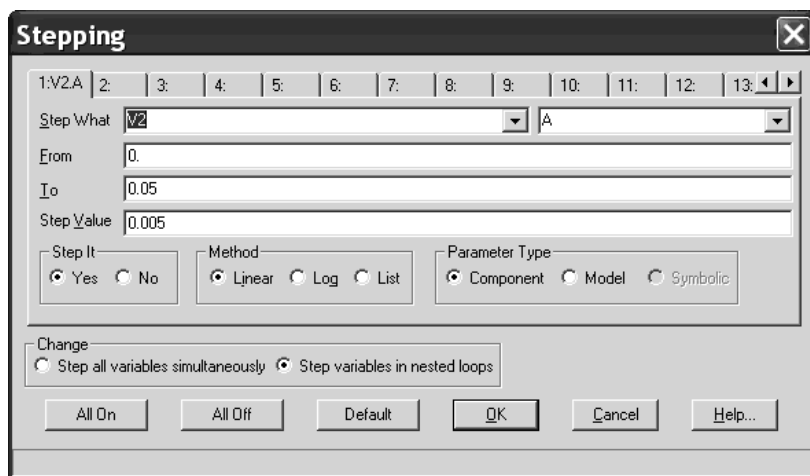


Рис. 15.50

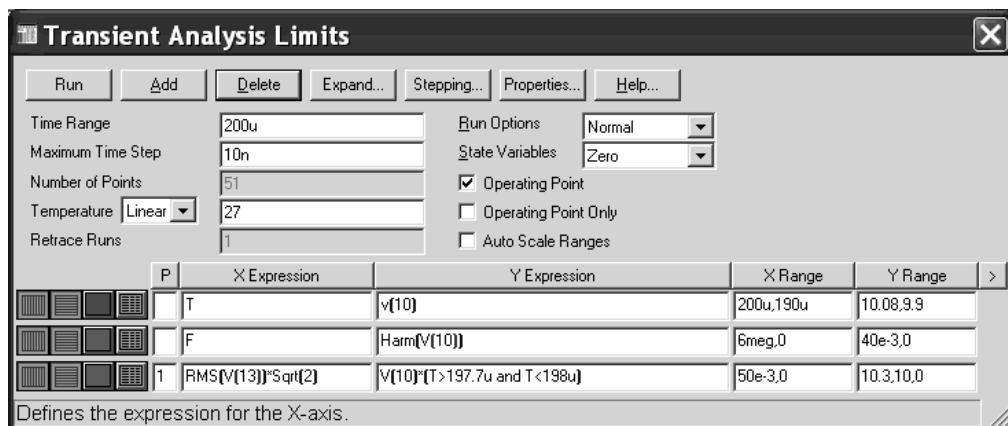


Рис. 15.51

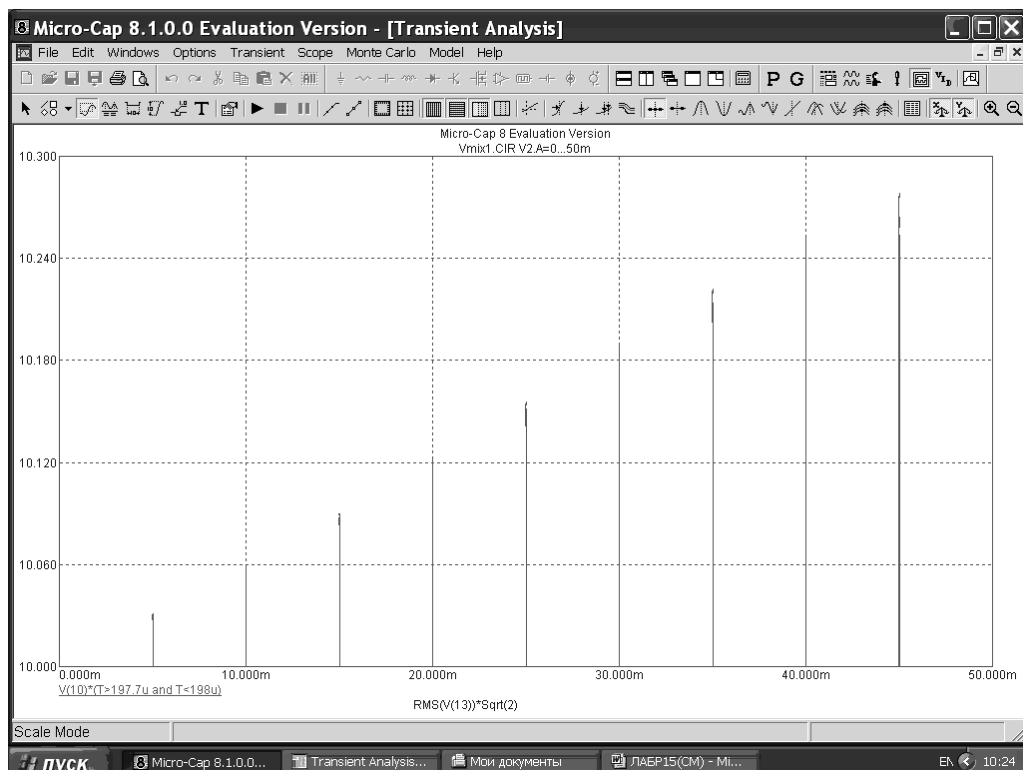
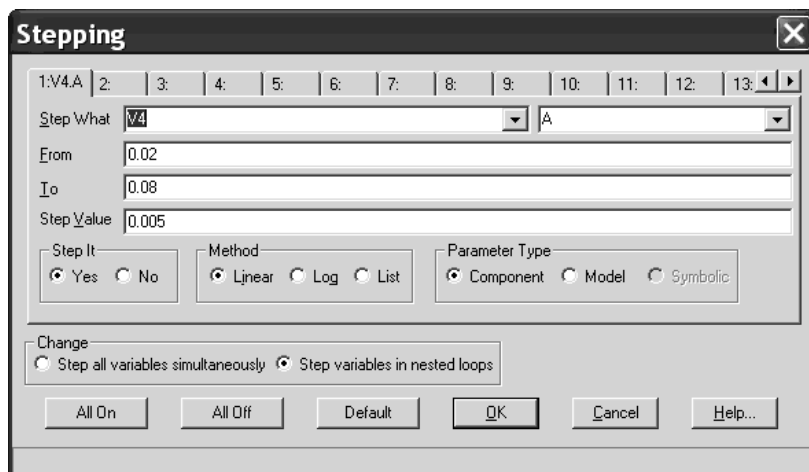


Рис. 15.52

метры источника сигнала соответствуют рис. 15.26. Для режима транзистора ПрЧ по постоянному току (рис. 15.23) и амплитуды напряжения гетеродина $U_r = 50$ мВ, войдем в режим варьирования амплитуды напряжения входного сигнала (рис. 15.53).



Задавая пределы анализа (подменю Transient Analysis Limits) в соответствии с рис. 15.54 и учетом пределов изменения амплитуды входного сигнала получим зависимость напряжения промежуточной частоты от амплитуды сигнала полужеркальной частоты на входе ПрЧ (рис. 15.55).

Пункт задания 2.2.6 выполнить для угла отсечки $\Theta = 90^\circ$ и амплитуде напряжения гетеродина $U_r = 50$ мВ.

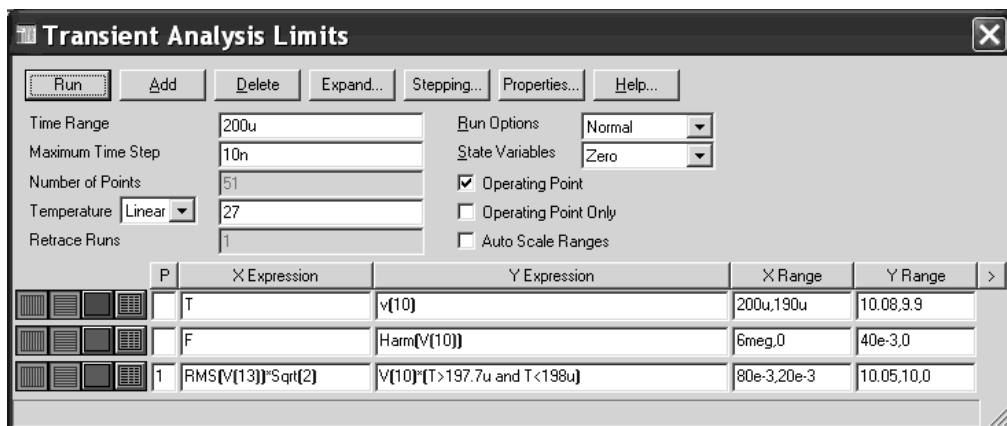


Рис. 15.54

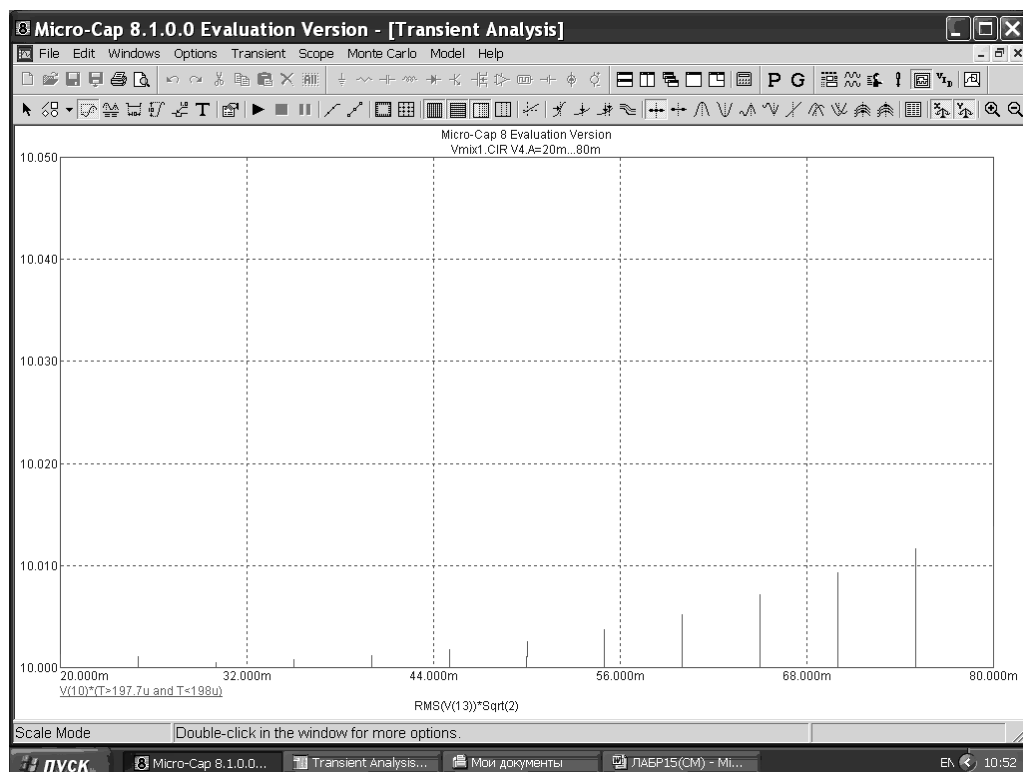


Рис. 15.55

Для выполнения лабораторной работы может быть полезным использование принципиальной схемы преобразователя частоты или ее фрагмента (рис. 15.56).

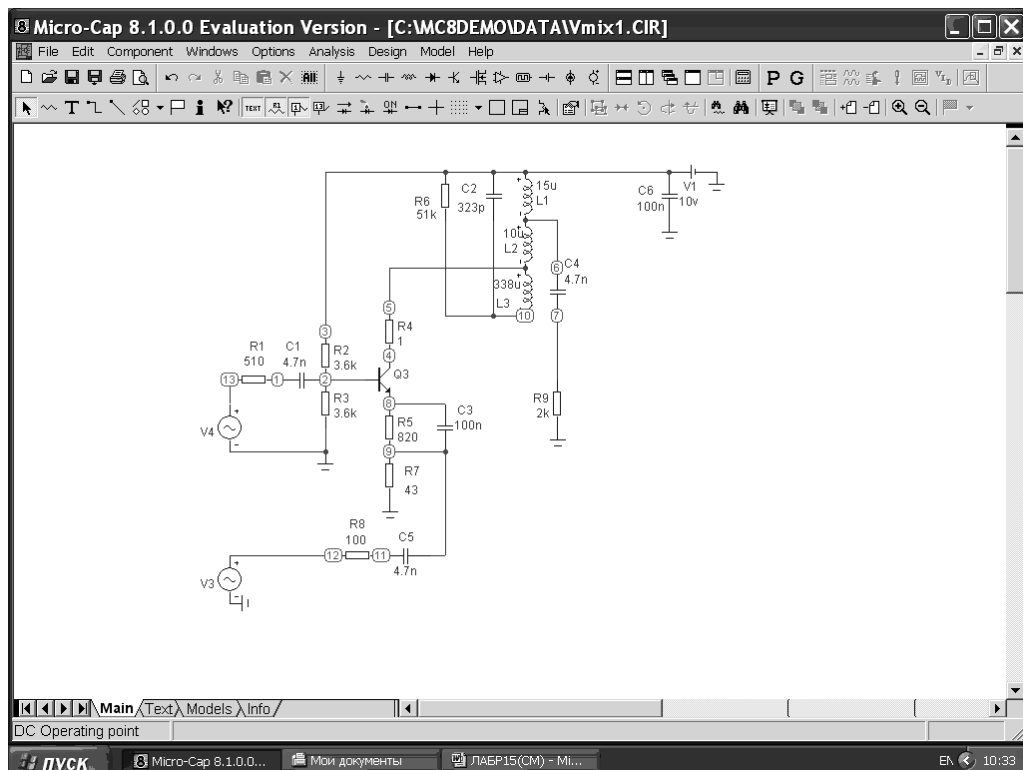


Рис. 15.56

Исследование начните с определения режима транзистора по постоянно-му току.

Возможность ее использования оцените по углу отсечке на характери-стике крутизны.

4 Обработка результатов расчета и эксперимента

Для углов отсечки $\Theta = 90^\circ$ и 180° приведите значения напряжений началь-ного смещения E_0 и амплитуд напряжения гетеродина.

Для угла отсечки $\Theta = 90^\circ$ определите уточненное значение емкости коле-бательного контура, полосы пропускания по уровню $0,707K_{\text{макс}}$ и амплитуду напряжения сигнала полужеркальной частоты, при которой на контуре возни-кает напряжение промежуточной частоты. Результаты расчетов эксперимента сведите в таблицу 2.

Таблица 2

Θ , град	E_0 , В	U_r , В	$C2$, пФ	$P_{0,707}$, кВт	$U_{n/3}$, В
90					
180					

Амплитудно-частотная характеристика ПрЧ приводится в виде таблицы 1.

5 Содержание отчета

Отчет должен содержать в себе:

- наименование и цель работы;
- принципиальную схему ПрЧ в режиме усиления, АЧХ;
- принципиальную схему ПрЧ в режиме преобразования АЧХ;
- графики напряжения на контуре ПрЧ от амплитуды напряжения гетеродина, от амплитуды напряжения сигнала, от амплитуды напряжения полужеркальной частоты;
- краткие выводы по работе.

6 Контрольные вопросы

1. Изобразите структурную схему преобразователя частоты и укажите назначение основных элементов.
2. В чем отличие свойств ПрЧ, реализованных на диодах и транзисторах?
3. В какие выводы транзистора включаются источники напряжения входного сигнала и напряжения гетеродина? Какие возможны варианты включения? Достоинства и недостатки каждого из них.
4. Укажите условия проведения анализа свойств ПрЧ. Укажите причины ограничений и их влияние на результаты анализа.
5. Запишите выражение для коэффициента передачи ПрЧ при использовании одиночного колебательного контура в коллекторной цепи. От каких параметров устройства зависит величина коэффициента передачи?
6. Что является причиной появления побочных каналов приема? Какие каналы оказывают наибольшее влияние и как это проявляется?
7. Что такое «канал прямой передачи»? Какое влияние он оказывает на прием сигнала?
8. Что такое «зеркальный» и «полужеркальный» каналы приема? Их положение на частотной характеристике ПрЧ.
9. Изобразите амплитудно-частотную характеристику ПрЧ. Поясните ее характер.
10. Укажите причину возникновения и способы борьбы с «зеркальным каналом»? Возможно ли построение одноконтурного ПрЧ без «зеркального канала»?

11. Перечислите способы борьбы с побочными каналами приема. Укажите наиболее эффективные из них.

12. Что такое «нелинейный режим» работы ПрЧ? К чему приводит работа в таком режиме?

7 Краткие теоретические сведения

7.1 Принцип построения преобразователя

Преобразование частоты — перенос спектра радиосигнала из одной области радиочастотного диапазона в другую область без изменения вида и параметров модуляции.

Преобразование частоты реализуется в смесителе, содержащем нелинейный элемент, или один из параметров которого, изменяется. Результатом воздействия на смеситель двух гармонических составляющих является перемножение напряжений сигнала $u_c = U_c \cos(\omega_c t + \varphi_c)$ и напряжения гетеродина $u_r = U_r \cos \omega_r t$ (вспомогательного генератора в структуре приемника).

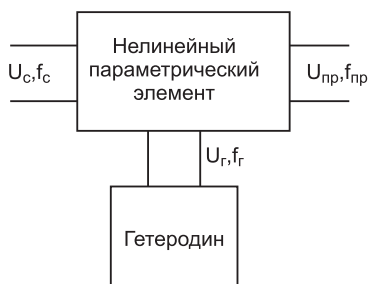


Рис. 15.57

Комбинационная составляющая, обычно разностной частоты, является полезным продуктом и выделяется фильтром промежуточной частоты

$$\omega_{\text{пр}} = 0,5 U_c U_r \cos((\omega_c - \omega_r)t + \varphi_c).$$

Разностная составляющая $(\omega_c - \omega_r)$ соответствует сдвигу частот в область более низких частот (рис. 15.57). Использование суммарной составляющей $(\omega_c + \omega_r)$ означает перенос спектра радиосигнала в область более высоких частот.

Закон преобразования сигнала имеет вид

$$u_{\text{пр}}(t) = T(t)u_c(t), \quad (15.51)$$

где $T(t)$ — нестационарный системный оператор, зависящий от времени. Сохранение линейности системы позволяет использовать принцип суперпозиции для комбинации входных сигналов

$$T(t)[\alpha_1 u_{c1} + \alpha_2 u_{c2}] = \alpha_1 T(t)u_{c1} + \alpha_2 T(t)u_{c2},$$

при любых постоянных α_1 и α_2 .

Цепи, подчиняющиеся закону (15.51) называют параметрическими. Отличительной чертой параметрической цепи является наличие вспомогательного источника колебаний, управляющего параметрами элементов. Параметрическими элементами могут выступать резисторы $R(t)$, конденсаторы $C(t)$, индуктивности $L(t)$. В качестве нелинейных или параметрических элементов, которые называют смесителем, используют транзисторы (биполярные, полевые), диоды (туннельные, обычные, обращенные) — параметрическая проводимость, варикапы — как параметрическая емкость.

Напряжение на выходе смесителя, пропорциональное изменению входного сигнала $u_c(t)$, возникает лишь при $T(t)$, являющимся коэффициентом пропорциональности, зависящем от времени (15.51). Технически это реализуется при малой амплитуде входного сигнала U_c по сравнению с амплитудой напряжения гетеродина, $U_c \ll U_r$.

Выходной ток смесителя определяется как

$$i(t) = G(t)u_c(t), \quad (15.52)$$

где $G(t)$ — дифференциальная проводимость смесителя.

Представим дифференциальную проводимость смесителя, управляемую напряжением гетеродина, разложением в ряд Фурье

$$G(t) = G_0 + G_1 \cos \omega t + G_2 \cos 2\omega t + G_3 \cos 3\omega t + \dots \quad (15.53)$$

При гармоническом входном воздействии

$$u_c = U_c \cos(\omega_c t + \varphi_c), \quad (15.54)$$

подставляя (15.53), (15.44) в (15.52) и, учитывая тригонометрическую формулу

$$\cos \alpha \cos \beta = (\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta))/2 \quad (15.55)$$

выражение для выходного тока смесителя

$$i(t) = G_0 U_c \cos(\omega_c t + \varphi_c) + \frac{1}{2} G_1 U_c \cos(\omega_c \pm \omega_r)t + \varphi_c + \\ + \frac{1}{2} G_2 U_c \cos(\omega_c \pm 2\omega_r)t + \varphi_c + \dots \quad (15.56)$$

Составляющая выходного тока, обусловленная постоянной составляющей проводимости G_0 не обеспечивает переноса спектра входного сигнала на промежуточную частоту (сохраняется с частотой ω_c ; является причиной появления канала прямой передачи при $\omega_c = \omega_{np}$). Полезный продукт:

$$\omega_c \pm \omega_r, \omega_c \pm 2\omega_r, \dots, \quad (15.57)$$

выделяемый из бесконечного множества комбинационных составляющих, является продуктом преобразования, следствием изменения проводимости смесителя под действием напряжения гетеродина, и создается первой, второй и т. д. составляющими (15.53).

Простейший вариант построения резистивной параметрической цепи, реализующей (15.52), достигается применением двухполюсника (например, диода) в качестве $G(t)$ с вольтамперной характеристикой $i = f(u)$. При подключении к нему двух напряжений сигнала $u_c = U_c \cos(\omega_c t + \varphi_c)$ и гетеродина $u_r = U_r \cos \omega_r t$ ($U \gg U_r$) и разложением в ряд Тейлора вольтамперной характери-

стики (ВАХ) диода относительно мгновенного значения управляющего напряжения (u_r) ток диода:

$$i = i(u_c + u_r) = i(u_r) + i'(u_r)u_c + 1/2 i''(u_r)u_c^2 + \dots \quad (15.58)$$

Полезная составляющая тока промежуточной частоты (комбинационная составляющая):

$$i \approx i'(u_r(t))u_c = G_d(u_r(t))u_c,$$

где G_d — дифференциальная проводимость диода.

Использование реактивной составляющей проводимости варикапа, в качестве управляемого параметра двухполюсника, приводит к похожим результатам.

7.2 Основы линейной теории преобразователя частоты

В транзисторном преобразователе частоты (рис. 15.56) с отдельным гетеродином сигнала поступает на базу транзистора Q3, являющегося смесителем, а напряжение гетеродина — в цепь эмиттера через конденсатор С3. Нагрузкой является колебательный контур, настроенный на промежуточную частоту. Эта схема отражает вид обобщенной структурной схемы преобразователя частоты, представленной на рис. 15.58.

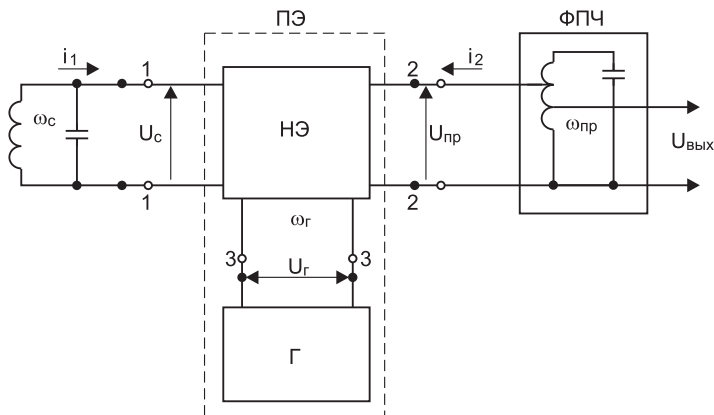


Рис. 15.58

Напряжение входного сигнала u_c поступает на нелинейный элемент (НЭ) — смеситель с входного колебательного контура (точки 1—1), входящего в состав преселектора радиоприемного устройства. Напряжение гетеродина, подаваемого в точки 3—3 нелинейного элемента, служит для управления каким-либо параметром НЭ и может являться единым устройством в случае совмещения свойств генератора колебаний и смесителя (преобразовательный элемент — ПЭ). Фильтр, включенный к точкам 2—2, выделяет полезную составляющую из тока НЭ, создающую на выходе ПрЧ — напряжение промежуточной частоты.

Смеситель (НЭ) является 6-полюсником на котором действуют напряжения сигнала u_c , гетеродина u_r , напряжение промежуточной частоты u_{np} и постоянное напряжение, определяющее режим работы НЭ. Анализ работы ПрЧ проведем при следующих условиях:

- напряжения, на всех входах 6-полюсника, гармонические

$$\begin{aligned} u_c &= U_c \cos(\omega_c t + \varphi_c); \\ u_r &= U_r \cos \omega_r t; \\ u_{np} &= U_{np} \cos(\omega_{np} t + \varphi_{np}). \end{aligned} \quad (15.59)$$

Включенные на входе и выходе НЭ колебательные контуры позволяют не учитывать влияние других комбинационных частот, действующих на соответствующих зажимах НЭ.

Указанные ограничения дают возможность понять принцип работы ПрЧ и получить его основные характеристики:

- амплитуда напряжения гетеродина значительно больше амплитуд напряжения сигнала и промежуточной частоты:

$$\begin{aligned} U_r &\gg U_c; \\ U_r &\gg U_{np}, \end{aligned} \quad (15.60)$$

что достаточно точно соответствует реальным условиям, так как входной сигнал, поступающий от преселектора, достаточно мал и основное усиление происходит в тракте промежуточной частоты (после преобразователя). В этом случае преобразовательный элемент является линейным по отношению к напряжению сигнала и напряжению промежуточной частоты и нелинейным относительно напряжения гетеродина;

- не учитываются инерционные свойства НЭ, что справедливо для широкого класса ПрЧ, когда частота входного воздействия значительно ниже предельной частоты электронных приборов и позволяет пренебречь реактивными параметрами активных элементов (транзисторов, диодов).

Для безэнергонного НЭ входной (i_1) и выходной (i_2) токи определяются статическими ВАХ

$$i_1 = f_1(u_r, u_c, u_{np}); \quad (15.61)$$

$$i_2 = f_2(u_r, u_c, u_{np}). \quad (15.62)$$

Поскольку напряжения сигнала и промежуточной частоты малы (15.60), то выходной ток (15.62) можно аппроксимировать рядом Тейлора, по двум переменным u_c , u_{np} , ограничиваясь линейными членами разложения

$$i_2 = f_2(u_c, u_{np}, u_r) \approx f_2(u_r) + \frac{\partial f_2(u_r)}{\partial u_c} u_c + \frac{\partial f_2(u_r)}{\partial u_{np}} u_{np}, \quad (15.63)$$

где

$$f_2(u_r) = i_{\text{вых}}(u_r) = i_{2r}(t), \quad (15.64)$$

ток на выходе НЭ, обусловленный действием напряжения гетеродина и постоянным напряжением (содержит только составляющие к ω_r).

$$\frac{\partial f_2(u_r)}{\partial u_c} = \frac{\partial i_{\text{вых}}(u_r)}{\partial u_c} = Y_{21}(t) = S(t), \quad (15.65)$$

дифференциальная проводимость (крутизна) прямой передачи, изменяющаяся с частотой ω_r .

$$\frac{\partial f_2(u_r)}{\partial u_{\text{пр}}} = \frac{\partial I_{\text{вых}}(u_r)}{\partial u_{\text{пр}}} = Y_{22}(t) = g_{22}(t), \quad (15.66)$$

дифференциальная выходная проводимость преобразователя, изменяющаяся с частотой ω_r .

Из (15.59) следует, что напряжение гетеродина является четной периодической функцией, поэтому выражения для тока $i_{2r}(t)$ и крутизны (15.65) можно представить разложением в ряд Фурье по четным функциям с частотой гетеродина:

$$i_{2r}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} I_n \cos n\omega_r t; \quad (15.67)$$

$$S(t) = \sum_{k=0}^{\infty} S_k \cos k\omega_r t \quad (15.68)$$

при $k\omega_r > \omega_c$

$$g_{22}(t) = \sum_{m=0}^{\infty} g_{22m} \cos m\omega_r t. \quad (15.69)$$

Подставляя (15.64)—(15.69) в (15.63) и учитывая (15.55), получим:

$$\begin{aligned} i_2 &= \sum_{n=0}^{\infty} I_n \cos n\omega_r t + \sum_{k=0}^{\infty} S_k U_c \cos k\omega_r t \cos(\omega_c t) + \sum_{m=0}^{\infty} g_{22} U_{\text{пр}} \cos m\omega_r t \cos(\omega_{\text{пр}} t) = \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} I \cos n\omega_r t + 1/2 \sum_{k=0}^{\infty} S_k U_c \cos(k\omega_r + \omega_c)t + \cos(k\omega_r - \omega_c)t + \\ &+ 1/2 \sum_{m=0}^{\infty} g_{22m} U_{\text{пр}} \cos(m\omega_r + \omega_{\text{пр}})t + \cos(m\omega_r - \omega_{\text{пр}})t. \end{aligned} \quad (15.70)$$

Как следует из (15.70) перенос сигнала с частотой ω_c на другую частоту, при $k\omega_r > \omega_c$:

$$\omega_{\text{пр}} = k\omega_r + \omega_c; \quad (15.71)$$

$$\omega_{\text{пр}} = k\omega_r - \omega_c, \quad (15.72)$$

при $\omega_c > k\omega_r$

$$\omega_{\text{пр}} = \omega_c - k\omega_r, \quad (15.73)$$

возможен при использовании любой гармоник крутизны. Обычно применяют перенос сигнала вниз ($\omega_{\text{пр}} < \omega_c$), при $k = 1$ (простое преобразование):

$$f_{\text{пр}} = f_r - f_c \text{ (или } f_{\text{пр}} = f_c - f_r).$$

Последнее слагаемое в (15.70) указывает на появление составляющих выходного тока с частотой $f_{\text{пр}}$ при $m = 0$. Это определяется постоянной составляющей выходной дифференциальной проводимости НЭ и характеризует реакцию нагрузки.

Таким образом, для выбранной частоты $f_{\text{пр}}$, из разложения выходного тока (15.70), полезной является только одна составляющая тока промежуточной частоты. Комплексная амплитуда выходного тока промежуточной составляющей

$$I_{\text{вых}} = S_k \underline{U}_c / 2 + g_{220} \underline{U}_{\text{пр}}, \quad (15.74)$$

где $\underline{U}_c = U_c e^{j\varphi_c}$, $\underline{U}_{\text{пр}} = U_{\text{пр}} e^{j\varphi_{\text{пр}}}$, что справедливо для условия $\omega_c > k\omega_r$ (15.73). Соотношение (15.74) оценивает значение амплитуды полезной составляющей тока на выходе ПрЧ без инверсии спектра входного сигнала (расположение боковых составляющих спектра входного сигнала сохраняется — верхняя боковая полоса остается в перенесенном спектре верхней боковой полосой, нижняя — нижней).

Для условия $k\omega_r > \omega_c$ спектр комплексных амплитуд выходного тока об- ладает

$$I_{\text{вых}} = S_k \underline{U}_c^* / 2 + g_{220} \underline{U}_{\text{пр}} \quad (15.75)$$

инверсией (боковые полосы в преобразованном сигнале меняются местами), на что указывает фаза напряжения сигнала $\underline{U}_c^* = U e^{-j\varphi_c}$. Это необходимо учитывать при преобразовании стереофонического сигнала или обработке сигнала с однополосной амплитудной модуляцией.

Используя опыты холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ) по входу и выходу НЭ можно определить основные параметры преобразователя.

При КЗ выходе ПрЧ ($U_{\text{пр}} = 0$) из (15.74), (15.75) находим крутизну преобразования

$$S_{\text{пр}} = S_k / 2 \quad (15.76)$$

— коэффициент пропорциональности между амплитудой выходного тока на промежуточной частоте и амплитудой напряжения сигнала на входе при КЗ выходе НЭ (по определению $S = I_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$). Для случая простого преобразования ($k = 1$) $S_{\text{пр}} = S_1 / 2$.

Для случая $k = 0$ (значение крутизны постоянно — определяется постоянной составляющей разложения в ряд Фурье) преобразования не происходит (15.53) и составляющая с частотой $\omega_{\text{пр}}$ не создается, ПрЧ является усилителем входного сигнала.

Выходная проводимость ПрЧ ($g_{22} = I_{\text{вых}}/U_{\text{вых}}$) вычисляется при КЗ входе ($U_c = 0$) определяется постоянной составляющей (15.74, 15.75) проводимости (составляющая с частотой $f_{\text{пр}}$ существует только при $m = 0$):

$$g_{22 \text{ пр}} = g_{220} = 1/R_{i \text{ пр}} \quad (15.77)$$

и часто называется внутренней собственной проводимостью, обратной внутреннему сопротивлению преобразователя.

Внутренний коэффициент усиления преобразователя:

$$\mu_{\text{пр}} = S_{\text{пр}}/g_{22 \text{ пр}} = S_{\text{пр}}R_{i \text{ пр}}. \quad (15.78)$$

Как следует из (15.61) в ПрЧ наряду с прямым возникает и обратное преобразование т. е. появление на его входе составляющей с частотой сигнала f_c при наличии составляющей с частотой $f_{\text{пр}}$ в нагрузке смесителя. Используя рассмотренную ранее методику анализа ПрЧ для прямого преобразования (15.63) и разложив входной ток в ряд Тейлора по двум переменным u_c , $u_{\text{пр}}$ и, ограничиваясь линейными членами, получим:

$$i_1 = f_1(u_r) + \frac{\partial f_1}{\partial u_c} u_c + \frac{\partial f_1}{\partial u_{\text{пр}}} u_{\text{пр}}, \quad (15.79)$$

где:

$$f_1(u_r) = i_{\text{вх}}(u_r) = i_{1r} \quad (15.80)$$

— входной ток смесителя при действии напряжения гетеродина;

$$\frac{\partial f_1}{\partial u_c} = \frac{\partial i_{\text{вх}}(u_c)}{\partial u_c} = Y_{11}(t) \quad (15.81)$$

— дифференциальная входная проводимость НЭ;

$$\frac{\partial f_1}{\partial u_{\text{пр}}} = \frac{\partial i_{\text{вх}}(u_{\text{пр}})}{\partial u_{\text{пр}}} = Y_{12}(t) \quad (15.82)$$

— дифференциальная проводимость обратной передачи.

Представляя (15.81), (15.82) разложениями в ряд Фурье и учитывая (15.55), получим значения комплексных амплитуд входного тока НЭ:

$$I_c = g_{110} U_c + S_{\text{обр}} U_{\text{пр}}, \quad (15.83)$$

где g_{110} — дифференциальная входная проводимость НЭ на частоте сигнала и определяется как $g_{110} = I_c/U_c$, при $U_{\text{пр}} = 0$ (КЗ на выходе смесителя).

Очевидно, что обратное преобразование отсутствует при $S_{\text{обр}} = 0$, $g_{110} = 0$.

Система уравнений (15.74) и (15.83) описывает некоторый эквивалентный 4-полюсник (ПЭ) преобразовательный элемент (НЭ объединенный с гетеродином) линейной системой Y параметров:

$$I_1 = Y_{11} U_c + Y_{12} U_{\text{пр}}; \quad (15.84)$$

$$I_2 = Y_{21} U_c + Y_{22} U_{\text{пр}}.$$

По форме система линейных уравнений, описывающих ПрЧ, совпадает с описанием усилительного каскада, где параметры усилительного элемента заменены параметрами преобразователя.

Комплексный коэффициент передачи преобразователя:

$$\underline{K}_{\text{пр}} = \underline{U}_{\text{пр}} / \underline{U}_c.$$

Напряжение на нагрузке ПрЧ:

$$\underline{U}_{\text{пр}} = -\underline{I}_{\text{пр}} \underline{Z}_n, \quad (15.85)$$

с учетом фазы между выходным током и напряжением на нагрузке, тогда комплексный коэффициент передачи:

$$\underline{K} = - \frac{(S_{\text{пр}} \underline{U}_c + g_{220} \underline{U}_{\text{пр}}) \underline{Z}_n}{\underline{U}_c} = - \frac{\underline{\mu}_{\text{пр}}}{1 + R_{i\text{пр}} \underline{Y}_n}, \quad (15.86)$$

где $\underline{Y}_n = 1/\underline{Z}_n$.

Коэффициент усиления (15.86) зависит от частоты, поскольку сопротивление нагрузки изменяется с изменением от частоты. Если нагрузкой является колебательный контур, то максимальное усиление будет при резонансе, т. е. когда

$$\omega_{\text{пр}} = \omega_{\text{пр } o}. \quad (15.87)$$

Тогда частоты сигнала, при которых существует резонанс выходного контура:

$$\omega_{c \ o} = \omega_{\text{пр } o} - k\omega_r, \text{ при } \omega_{\text{пр } o} > k\omega_r; \quad (15.88)$$

$$\omega_{c \ o} = k\omega_r - \omega_{\text{пр } o}, \text{ при } \omega_{\text{пр } o} < k\omega_r; \quad (15.89)$$

$$\omega_{c \ o} = k\omega_r + \omega_{\text{пр } o}. \quad (15.90)$$

Отсюда видно, что для фиксированных значений частоты гетеродина и резонансной частоты выходного контура резонанс наступает для нескольких значений частоты сигнала, что отличает преобразователь частоты от резонансного усилителя.

7.3 Побочные каналы приема

Поскольку в супергетеродинных преемниках обычно $kf_r > f_{\text{пр } o}$, то как следует из (15.89), (15.90) на частотах входного сигнала:

$$f_{c \ o} = kf_r \pm f_{\text{пр } o} \quad (15.91)$$

получается резонанс, при крутизне преобразователя $S_{\text{пр}} = S_k/2$, зависящей от номера гармоники. Частотная характеристика преобразователя — зависимость коэффициента усиления от частоты сигнала имеет вид (рис. 15.59).

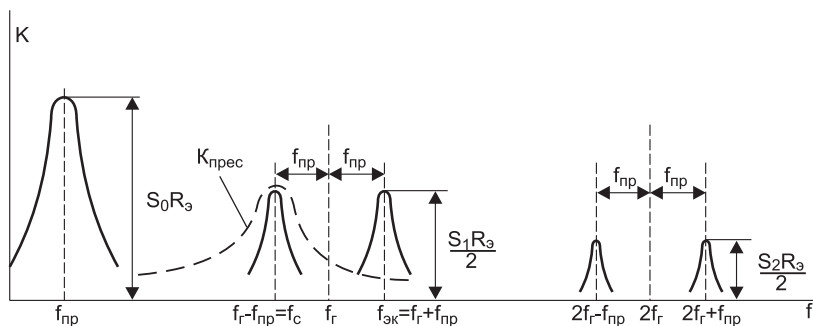


Рис. 15.59

Значение модуля коэффициента усиления $K_{\text{пр}0}$ на частотах входного сигнала (15.91), обеспечивающего резонанс в нагрузке, $Z_{\text{н}} = R_{\text{н}} = 1/G_{\text{н}}$ имеет вид

$$K_{\text{пр}0} = \frac{\mu_{\text{пр}}}{1 + R_{\text{iпр}} G_{\text{н}}} = \frac{S_{\text{пр}} R_{\text{н}}}{1 + R_{\text{н}}/R_{\text{iпр}}} = S_{\text{пр}} R_{\text{э}}, \quad (15.92)$$

где $R_{\text{э}} = R_{\text{н}}/(1 + R_{\text{н}}/R_{\text{iпр}})$.

Как видно из рис. 15.59 напряжение на выходе ПрЧ появляется при воздействии на его входе сигналов с частотами, при которых выходное напряжение находится в полосе пропускания выходного колебательного контура. Напряжение на выходе ПрЧ появляется различными путями за счет использования различных составляющих, периодически изменяющейся крутизны НЭ. Составляющая на частоте $f_{\text{с}} = f_{\text{пр}0}$, которая получается согласно (15.70) при $k = 0$ и дает наибольшее напряжение на нагрузке без преобразования частоты при крутизне S_0 , определяемой крутизной в рабочей точке на статической ВАХ.

Сигналы с частотами $f_{\text{г}} \pm f_{\text{пр}0}$ принимаются (создают на выходе ПрЧ промежуточную частоту) за счет использования первой гармоники крутизны S_1 , а сигнал $2f_{\text{г}} \pm f_{\text{пр}0}$ за счет использования второй гармоники крутизны S_2 и т. д. Таким образом, возможно одновременное усиление сигналов на промежуточной частоте из различных частотных каналов.

Используя, например, в качестве основного канал с частотой $f_{\text{с}} = f_{\text{г}} - f_{\text{пр}0}$, остальные считаем дополнительными, паразитными. Для симметрично расположенного относительно частоты $f_{\text{г}}$ канала с частотой $f_{\text{эк}} = f_{\text{г}} + f_{\text{пр}0}$, называемого зеркальным, напряжение на выходе ПрЧ создается с таким же коэффициентом передачи, как и для основного канала, определяемого крутизной S_1 .

Дополнительные каналы приема у преобразователя приводят к тому, что вместе с полезной станцией, супергетеродинный приемник принимает ряд мешающих станций, работающих на различных частотах. Для уменьшения вредного воздействия мешающих станций надо выбирать режим работы НЭ, при котором крутизна преобразователя для дополнительных каналов была мала. Поскольку крутизна преобразования для основного и зеркального каналов одинакова, то необходимо устанавливать на входе ПрЧ избирательную систему, которая уменьшает напряжение частоты зеркального канала. Одновременно она ослабляет и другие побочные каналы. Это осуществляется в

преселекторе, устройстве установленном до преобразователя и осуществляющего предварительную фильтрацию полезного сигнала.

Дополнительные каналы приема приводят к искажениям принимаемого сигнала даже при наличии лишь одного передатчика, так как если основной канал вследствие умножения на НЭ преселектора частично или полностью совпадает с частотой одного из дополнительных каналов, это приводит к появлению напряжения промежуточной частоты, полученного двумя путями. Это приводит к интерференционным искажениям в виде биений и при приеме телефонных сигналов искажений в виде свистов. Избавиться от интерференционных искажений с помощью преселектора невозможно. Уменьшить их можно выбором промежуточной частоты, при которой исключается совпадение частот основного и побочных каналов приема (гармоники и субгармоники промежуточной частоты не должны попадать в диапазон принимаемых частот).

Для достаточно малых уровнях входного сигнала роль побочного канала может выполнять канал прямого прохождения, когда $f_c \approx f_{\text{про}}$.

При уровнях сигнала на входе ПрЧ требующих описания его свойств нелинейной моделью, недостаточно ограничиваться линейными членами разложения выходного тока в ряд Тейлора (15.63) и требуется учитывать члены более высоких порядков. Воздействие достаточно большого уровня входного сигнала, сравнимого с уровнем напряжения гетеродина, приводит к возникновению нелинейных искажений по частоте сигнала (появление гармоник на частотах кратных частоте сигнала). Напряжение на выходе ПрЧ будет определяться частотными составляющими:

$$\omega_{\text{пр}} = k\omega_r + m\omega_c, \text{ при } k\omega_r < \omega_{\text{пр}}; \quad (15.93)$$

$$\omega_{\text{пр}} = k\omega_r - m\omega_c, \text{ при } k\omega_r > \omega_{\text{пр}}; \quad (15.94)$$

$$\omega_{\text{пр}} = m\omega_c - k\omega_r. \quad (15.95)$$

Поскольку в супергетеродинных приемниках обычно $\omega_r > \omega_{\text{пр}}$, то (15.93) принимать во внимание не будем. Для полосового фильтра на выходе ПрЧ, реализованного в виде одиночного колебательного контура, условием появления выходного напряжения является $\omega_{\text{пр}} = \omega_{\text{про}}$. Это позволяет получить значения частот сигнала $\omega_{\text{с о}}$, при которых возможно появление напряжения промежуточной частоты в полосе пропускания колебательного контура (из (15.93), (15.95)):

$$\omega_{\text{с о}} = \frac{k\omega_r \pm \omega_{\text{про}}}{m}. \quad (15.96)$$

Очевидно, что это приводит к появлению дополнительных паразитных каналов приема, при $m \neq 1$. При $k = m = 2$ возникает два паразитных канала приема полужеркальной частоты $f_{\text{пз}} = f_r \pm 1/2f_{\text{пр}} = f_c \pm 1/2f_{\text{пр}}$. Полужеркальный канал очень близок к частоте полезного сигнала и его трудно подавить в преселекторе.

Уменьшение уровня входного сигнала и выбор режима работы НЭ позволяет снизить число дополнительных каналов приема, Этого же эффекта достигают применением достаточно избирательных преселекторов.

Повысить степень подавления главных паразитных каналов приема $f_{\text{пр}}$, $f_{\text{зк}}$, $f_{\text{пз}}$ можно используя двойное преобразование частоты, когда относительно высокая первая промежуточная частота $f_{\text{пр1}}$ позволяет подавить зеркальный канал применением достаточно простой схемы преселектора (часто неперестраиваемой даже в диапазонных приемниках). Сравнительно низкая вторая промежуточная частота $f_{\text{пр2}}$ облегчает формирование требуемой АЧХ фильтра в нагрузке ПрЧ₂ (подавление соседних каналов).

При приеме АМ сигнала воздействие на ПрЧ достаточно мощной помехи приводит к появлению амплитудной модуляции полезного сигнала помехой — возникновению перекрестной модуляции. Это приводит к прослушиванию мешающей станции.

8 Литература

1. Радиопремные устройства / Под ред. проф. Н. Н. Фомина. М.: Радио и связь. 2003.
2. Разевиг В. Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ. В 4-х вып. — М.: РиС, 1992.
3. Головин О. В. Радиоприемные устройства. М.: ВШ, 1997. С. 153—174.
4. Разевиг В. Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 7. М.: Горячая линия—Телеком, 2003. 364 с.
5. <http://WWW.spectrum-soft.com/demoform.shtml> (адрес в Internet для получения студенческой версии ССМ МС).