

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ В СРЕДЕ MICRO-CAP VIII

Методические указания к лабораторным работам для студентов
III, V курсов факультета РЭФ специальностей «Радиотехника»,
«Бытовая радиоэлектронная аппаратура» и «Радиосвязь, радиовещание
и телевидение» дневного отделения

УДК 621.396.6.001.63(076.5)
О-753

Составили: канд. техн. наук, доц. В.В. Дуркин,
канд. техн. наук, доц. О.Н. Шлыкова

Рецензент д-р техн. наук, проф. В.П. Разинкин

Работа подготовлена кафедрой радиоприемных
и радиопередающих устройств

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
В СРЕДЕ MICRO-CAP VIII**

Методические указания

Редактор *И.Л. Кескевич*
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*
Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

Подписано в печать 25.08.2009. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 100 экз.
Уч.-изд. л. 3,02. Печ. л. 3,25. Изд. № 132. Заказ № Цена договорная

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

© Новосибирский государственный
технический университет, 2009

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ВВОДА ИНФОРМАЦИИ О СХЕМЕ

1.1. РАБОТА В СРЕДЕ MC8

1.1.1. Общие сведения о системе MC8

Программная система MICRO-CAP VII (MC8) обладает большими возможностями, широко применяется профессионалами и рекомендована для изучения студентами. Данный практикум предусматривает изучение только основных возможностей аналогового схемотехнического проектирования. Более подробные сведения можно получить в книге В.Д. Разевига «Система схемотехнического моделирования MICRO-CAP VII», Москва, 2007 г.



MC8 обладает следующими основными возможностями.


1. Графический ввод схем.
2. Наличие в библиотеках практически исчерпывающего набора моделей компонентов и возможность пополнения библиотек.
3. Анализ аналоговых, аналого-цифровых и цифровых схем в основных режимах.
4. Получение результатов анализа в виде графиков и таблиц на экране.
5. Распечатка анализируемых схем, графиков и таблиц.


1.1.2. Подготовительные операции

После вызова MC8 на экран выводится окно редактора схем. В верхней части рабочего окна редактора расположено основное меню редактора – меню команд. С наиболее важными командами этого меню вы познакомитесь в процессе выполнения лабораторных ра-

бот. Под основным меню находится панель инструментов, состоящая из двух строк. В этих строках расположены квадратные кнопки с различными изображениями (пиктограммами). Часть кнопок типичны для всех программ, работающих под Windows. Дополнительно к ним рекомендуется ознакомиться с кнопками для нумерации

узлов схемы , для текстовых надписей на схемах ,













для надписей компонентов схемы . Основное поле экрана предназначено для создания на нем графического изображения схемы с сопутствующими надписями и изображениями. Для набора схемы необходимо на

панели инструментов подключить клавишу .

1.1.3. Добавление компонентов в схему

Для добавления компонентов в схему можно применять три способа.

1. Добавление компонентов с помощью специальных кнопок – пиктограмм в верхней строке инструментов. Этим способом можно вводить только наиболее употребительные компоненты :

 – резистор;  – конденсатор;  – диод;  – *n-p-n*-транзистор,  – МОП-транзистор обедненного типа с *n*-каналом,  – операционный усилитель,  и  – источники постоянного напряжения;  – источник переменного тока;  – соединительная линия;  – линия под прямым углом;  – «земля».

Для ввода компонентов необходимо установить курсор на нужную кнопку – пиктограмму и щелкнуть левой клавишей мыши (ЛКМ). Затем установить курсор в нужную точку на поле схемы и нажать, не отпуская ЛКМ. При этом можно перемещать (буксировать) изображение компонента, а, дополнительно нажимая на правую клавишу мыши (ПКМ), можно поворачивать изображение на 90 градусов.

2. Добавление компонентов при помощи многоуровневого иерархического меню.

Для ввода компонентов следует выбрать курсором опцию Компоненты главного меню и нажать ЛКМ, в открывшемся подменю аналогично выбрать имя необходимой группы компонентов и так до тех пор, пока не будет выбран нужный компонент. После этого изображение компонента переносится на поле схемы, как это описано в предыдущем пункте.

3. Если необходимый компонент уже добавлялся в схему в данном сеансе работы, то его имя записывается в список подменю **Компоненты**, поэтому при повторном вводе можно выбрать имя компонента в этом списке, не «путешествуя» по многоуровневому меню.

После того как в окно редактора схем будут выведены все компоненты схемы, их необходимо объединить с помощью соединительных линий в единую схему. Желательно пронумеровать узлы схемы, чтобы проверить, нет ли разрыва соединительных линий (если на одной соединительной линии два узла, то есть разрыв линии).



1.1.4. Ввод параметров (атрибутов) компонентов

Ввод параметров (атрибутов) простейших компонентов. После ввода изображения компонента открывается диалоговое окно атрибутов (параметров). Для компонентов R , L , C (и некоторых других) обычно достаточно ввести соответствующее значение сопротивления, индуктивности, емкости в строке VALUE. При вводе можно использовать суффиксы meg (мега), k (кило), m (милли), u (микро), n (нано), p (пико).

К простейшим компонентам можно также отнести источники постоянного напряжения и тока. Для них также достаточно ввести соответствующее значение напряжения или тока. Для синусоидальных или импульсных источников необходимо заполнить окно атрибутов.

1.1.5. Ввод и индикация вспомогательных обозначений и текстов

МС8 позволяет снабдить схему вспомогательными обозначениями и текстами.

1. При работе в окне схем можно ввести/отменить индикацию номеров узлов схемы с помощью кнопки , а также индикацию позиционных обозначений компонентов (кнопка ).

2. Поле схемы можно снабдить текстами (надписями), служащими для обозначения выводов схем? или текстами, содержащими справочную информацию. Для ввода текстов необходимо щелкнуть



по кнопке (при этом рядом с курсором появляется буква Т), установить курсор в нужную точку поля схемы и в открывшемся окне ввести необходимый текст. Для ввода/отмены индикации уже введенного текста используется кнопка



1.1.6. Редактирование введенной схемы



Для редактирования атрибутов надо щелкнуть по кнопке. Рядом с курсором появляется буква I. Курсором необходимо щелкнуть по редактируемому компоненту. В результате открывается диалоговое окно атрибутов, содержимое которого поддается редактированию.

MC8 позволяет редактировать схемы с применением общих для приложений Windows приемов:

- 1) буксировка компонентов схемы;
- 2) выделение фрагмента схемы;
- 3) перемещение выделенного фрагмента схемы;
- 4) уничтожение выделенного фрагмента схемы;
- 5) запись (копировать) в буфер обмена Windows и извлечение (вставить) из буфера.

1.2. ЗАДАНИЕ

В системе схемотехнического проектирования MICRO-CAP8 (MC8) ознакомится с процедурой ввода графического изображения основных компонентов аналоговых электронных схем, с присвоением им определенных параметров (атрибутов) и с созданием чертежей принципиальных схем. Набор компонентов, подлежащих вводу, для каждого варианта приведён в табл. 1.1, а их атрибуты – в табл. 1.2.

Принципиальные схемы пассивного фильтра и усилительного каскада, чертежи которых вам надо создать в среде MC8, показаны на рис. 1.1 и 1.2, а номиналы их элементов сведены в табл. 1.3 и 1.4.

1.3. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

ЧАСТЬ 1. ПОИСК И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ

Принятые сокращения

R	резистор
C	конденсатор
L	индуктивность
D	диод
DC	стабилитрон
N	биполярный транзистор <i>n-p-n</i> структуры
P	биполярный транзистор <i>p-n-p</i> структуры
M-n	полевой транзистор с изолированным затвором и каналом <i>n</i> -типа
M-p	полевой транзистор с изолированным затвором и каналом <i>p</i> -типа
ПТ-n	полевой транзистор с управляющим <i>p-n</i> -переходом и каналом <i>n</i> -типа
ПТ-p	полевой транзистор с управляющим <i>p-n</i> -переходом и каналом <i>p</i> -типа
ОУ	операционный усилитель
ИПН	источник постоянного напряжения
ИПТ	источник постоянного тока
ИИН	источник импульсного напряжения
ИСН	источник синусоидального напряжения
ИТУН	линейный источник тока, управляемый напряжением
ИТУТ	линейный источник тока, управляемый током
ИНУН	линейный источник напряжения, управляемый напряжением
ИНУТ	линейный источник напряжения, управляемый током
→	стрелка
—	контакт
•	«земля»
V	батарея

Таблица 1.1

Набор компонентов, подлежащих вводу

Номер варианта	Обозначение вводимого элемента										
1	C	\rightarrow	ИПН	$M-n^3$	R^1	ИСН	N^3	L	ИНУН	ПТ- p	ИПТ
2	L	OY^4	R^1	ИНУТ	D^2	C	P^3	ИПТ	ИПН	ПТ- n	ИИН
3	D^2	ПТ- n^4	—	N^3	ИПТ	R^1	ИСН	L	C	$M-n$	ИНУТ
4	DC^3	R^1	$M-n$	ИСН	C	\rightarrow	ИПН	OY^5	ПТ- p	L	ИНУН
5	N	L	D^2	ПТ- n^3	ИСН	V	—	ИПТ	C	ИТУТ	R^1
6	ПТ- n^4	ИСН	R^1	P^4	OY	ИПТ	L	V	DC^4	ИНУН	C
7	OY^4	L	ИПН	DC	•	$M-n^5$	ИИН	R^1	C	ИПТ	N
8	R^1	ИПН	C	N^2	—	V	ИНУТ	ПТ- p	ИСН	L	$M-n$
9	•	$M-n$	R^1	ИПТ	OY^4	ИПН	P^3	ИНУТ	ИСН	C	L
10	R^1	ИПН	N^3	V	ПТ- p	ИИН	ИТУТ	L	—	$M-p$	D^2
11	ИТУН	OY^5	R^*	ИСН	C	$M-n^4$	P^4	•	ИПТ	L	ПТ- n
12	P	R^1	ИПН	\rightarrow	ИНУТ	L	$M-n$	V	OY^3	ИСН	C
13	N^4	ИПТ	R^1	ПТ- n	L	ИТУТ	P^5	ИСН	C	V	\rightarrow
14	$M-n^3$	ИИН	—	ИПТ	OY^5	ПТ- p	L	V	N^3	R^1	ИПН
15	ИТУТ	ИПТ	L	P^4	ИСН	$M-n^4$	ИНУТ	ИПН	—	OY^4	R^1

1 – позиционировать два резистора: один в горизонтальном, другой в вертикальном положении;

2 – позиционировать три диода: в горизонтальном и вертикальном положениях и под углом к горизонту;

3 – вывести метки и номера выводов;

4 – вывести метки и название выводов;

5 – вывести метки, названия и номера выводов.

ЧАСТЬ 2. УСТАНОВКА АТРИБУТОВ

Таблица 1.2a

Атрибуты компонентов

Атрибуты компоненты	Номер варианта						
	1	2	3	4	5	6	7
Обозначение в табл. 1.1	C	L	D	DC	N	ПТ- n	OY
Обозначение в окне схем	Ce	Lc	$VD1$	$VD1$	$VT1$	$VT1$	$A1$

Продолжение табл. 1.2а

Атрибуты компоненты	Номер варианта						
	1	2	3	4	5	6	7
Номинал или тип мо- дели	0,47 мк Ф	1,1 мГн	12CC12	1N3911	2N2221	2N3070	LF147
Обозначение в табл. 1.1		OY	ПТ-n	R	L	ИСН	L
Обозначение в окне схем	Ток ба- зы	X2	VT1	Rb Rc	L1	VC	Lh
Номинал или тип мо- дели	–	LF353	2N3458	5 МОм 3,3 кОм	1,1 мкГн	1 кГц 2,2 мВ	1,6 Гн
Обозначение в табл. 1.1	ИПН	R		M-n	D	R	ИПН
Обозначение в окне схем	VC	Rf R1		VT1	VD1	R3 R4	VC
Номинал или тип мо- дели	+12 В	30 Ом 2,2 кОм	–	2N6568	1N3028 А	300 Ом 9,1М Ом	–24 В
Обозначение в табл. 1.1	M-n	ИНУТ	N	ИСН	ПТ-n	P	DC
Обозначение в окне схем	VT1	VI1	VT2	VS	VT2	VT2	VD1
Номинал или тип мо- дели	2N6759	800Ом	2N2368	10 МГц 20 В	2N3823	2N1132	1N3017 А
Обозначение в табл. 1.1	R	D	ИПТ	C	ИСН	OY	•
Обозначение в окне схем	Rb1 Rb2	VD1	IC6	Cf	VC	A2	Bx •
Номинал или тип мо- дели	180 кОм 16 МОм	1N3040 А	20 мкА	0,68 мкФ	20 кГц 2,5 В	LM143	–
Обозначение в табл. 1.1	ИСН	C	R	—	V	ИПТ	M-n
Обозначение в окне схем	Vsin	Cr	Rc Re		V1	Ic	VT1
Номинал или тип мо- дели	50 Гц 311В	0,33 мк Ф	1,1 кОм 910 Ом	–	42 В	45 мА	2P313А



Окончание табл. 1.2а

Атрибуты компоненты	Номер варианта						
	1	2	3	4	5	6	7
Обозначение в табл. 1.1	N	P	ИСН	ИПН	→	L	ИИН
Обозначение в окне схем	VT2	VT1	V1	VC	ВХОД →	Lc	ВИМ
Номинал или тип мо- дели	2N2481	2N2904	15 МГц 4,5 В	+24	–	13 мкГц	40 мкс* 3 В
Обозначение в табл. 1.1	L	ИПТ	L	ОУ	ИПТ	V	R
Обозначение в окне схем	L	Ie	L1	X2	Ic	ВП	Rc Rg
Номинал или тип мо- дели	4,7 мГц	23,4 мА	0,002 ГГц	LM201A	20,5 мА	+36 В	0,5 кОм 3,3 МОм
Обозначение в табл. 1.1	ИНУН	ИПН	C	ПТ-р	C	DC	C
Обозначение в окне схем	E1	VC	Ce	VT2	C2	VD1	Cb1
Номинал или тип мо- дели	50	–36В	33мкФ	12N2608	47пФ	1N3493	680нФ
Обозначение в табл. 1.1	ПТ-р	ПТ-п	М-п	L	ИТУТ	ИНУН	ИПТ
Обозначение в окне схем	VT2	VT2	VT3	L	F2	E2	Igst
Номинал или тип мо- дели	2N3332	2N3955	2N6764	33 мкГц	35	74	80 мкА
Обозначение в табл. 1.1	ИПТ	ИИН	ИНУТ	ИНУН	R	C	N
Обозначение в окне схем	Ie	ВИМ	VI	VV	R1 R2	Cf	VT2
Номинал или тип мо- дели	420 мА	0,5 мс* 4,5 В	77 Ом	100	1,1 МОм 1,3 кОм	0,68 мкФ	2N3054

* импульс прямоугольной формы, период $T = 5t_n$

Таблица 1.26

Атрибуты компонентов

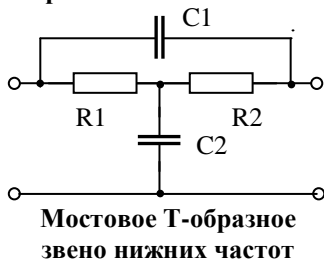
Атрибуты компоненты	Номер варианта							
	8	9	10	11	12	13	14	15
Обозначение в табл. 1.1	R ¹	•	R ¹	ИТУН	P	N ⁴	M-n ³	ИТУТ
Обозначение в окне схем	R12 R13	Выход •	R _c R _j	G1	VT1	VT1	VT1	F1
Номинал или тип модели	68 Ом 9,1 кОм	–	1,1 МОм 13 кОм	15 мА/В	2N2906	2N3393	2P706A	100
Обозначение в табл. 1.1	ИПН	M-n	ИПН	OY ⁵	R ¹	ИПТ	ИИН	ИПТ
Обозначение в окне схем	V _к	VT1	VП	OY	R ₃ R _c	Ип	V5	I4
Номинал или тип модели	–9	2P912A	+24	LM224	1,3 МОм	100 мА	5,3 мкс* 254 мО	1000 мА
Обозначение в табл. 1.1	C	R ¹	N ³	R ¹	ИПН	R ¹	—	L
Обозначение в окне схем	C _к	R8 R6	VT1	R _к R _э	E _к	R _b R _a		L5
Номинал или тип модели	10 пФ	1 МОм 240 кОм	2N3439	910 Ом 2,4 кОм	24 В	68 кОм 7,5 МОм	–	12 мкГн
Обозначение в табл. 1.1	N ²	ИПТ	V	ИСН	→	ПТ-n	ИПТ	P ⁴
Обозначение в окне схем	VT1	I _b	Eп	V5	2,5 мА →	VT2	I _c	VT1
Номинал или тип модели	2N3499	40мкА	18В	60HZ	–	2N4222	30 мА	2N3468
Обозначение в табл. 1.1	—	OY ⁴	ПТ-р	C	ИНУТ	L	OY ⁵	ИСН
Обозначение в окне схем		A3	VT2	Cr	VI2	Ldr	X4	Vin
Номинал или тип модели	–	LM2922	2N5462	680 нФ	240 Ом	1,3 мГн	Op_41A	10 МГц 20 мВ
Обозначение в табл. 1.1	V	ИПН	ИИН	M-n ⁴	L	ИТУТ	ПТ-р	M-n ⁴
Обозначение в окне схем	Ee	Ec	ВИМ	VT1	La	F2	VT2	VT2
Номинал или тип модели	6 В	16 В	0,3 мкс* 54 мВ	TRF822	36 мкГн	120	J240	2P310A
Обозначение в табл. 1.1	ИНУТ	P ³	ИТУТ	P ⁴	M-n	P ⁵	L	ИНУТ
Обозначение в окне схем	VI2	VT2	F1	VT2	VT2	VT3	Ldr	VI2

Атрибуты компоненты	Номер варианта							
	8	9	10	11	12	13	14	15
Номинал или тип модели	2,2 кОм	2N3634	100	2N3740	2SK313	2N2906	1,3 мГц	20 кОм
Обозначение в табл. 1.1	ПТ-р	ИНУТ	L	•	V	ИСН	V	ИПН
Обозначение в окне схем	VT2	VI2	Lк	Затвор •	Ес	V2	Es	Ea
Номинал или тип модели	KP101C	200 Ом	3,3 мкГц	—	27 В	60HZ	12 В	100 В
Обозначение в табл. 1.1	ИСН	ИСН	—	ИПТ	ОУ ³	C	N ³	—
Обозначение в окне схем	Vs	V4		Ic	A2	Cr	VT3	
Номинал или тип модели	1MHZ	100 кГц 200 мВ	—	2 мА	UA747C	1,1 мкФ	2N3500	
Обозначение в табл. 1.1	L	C	M-р	L	ПТ-р	V	R ¹	ОУ ⁴
Обозначение в окне схем	Lc	Cc	VT3	Lm	VT3	Vd	R4 Rк	X4
Номинал или тип модели	1 мкФ	12 пФ	2N6804	2,2 мГц	PN4342	-24 В	1 МОм 2,2 МОм	OP_41A
Обозначение в табл. 1.1	M-n	L	D ²	ПТ-n	C	→	ИПН	R ¹
Обозначение в окне схем	VT3	Lv	VD1	VT3	Cf	База →	Ef	Rg R5
Номинал или тип модели	IRFZ44	0,68 мГц	1N4107	2N4222	2,2 мкФ	—	80 В	1,6 МОм 2 кОм

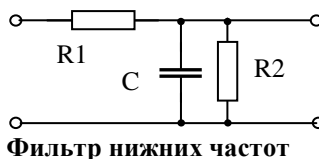
* импульс прямоугольной формы, период $T = 5t_{и}$

ЧАСТЬ 3. СОЗДАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ СХЕМ

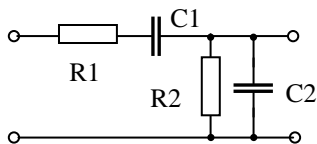
Вариант 1



Вариант 2

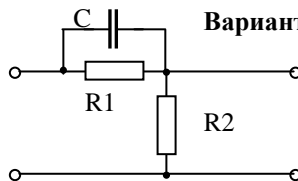


Вариант 3



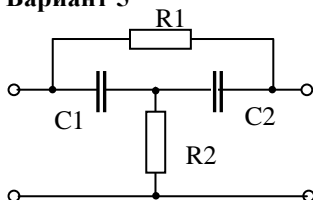
Мост Вина I

Вариант 4



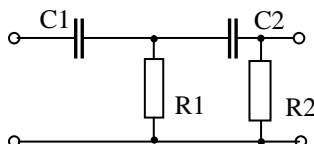
Фильтр верхних частот

Вариант 5



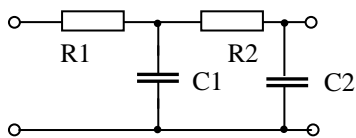
**Мостовое Т-образное
звено нижних частот**

Вариант 6



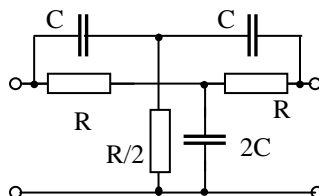
**Т-образное звено
верхних частот**

Вариант 7



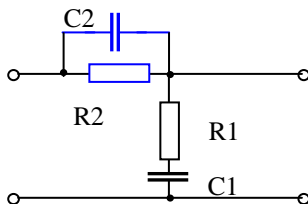
**Т-образное звено
нижних частот**

Вариант 8



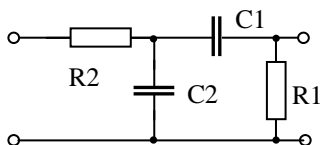
**Двойной Т-образный
фильтр-пробка**

Вариант 9



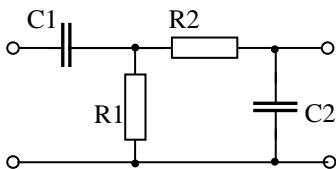
Мост Вина II

Вариант 10



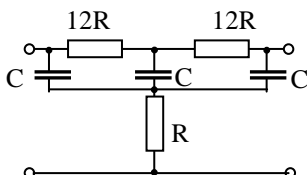
Полосовой фильтр

Вариант 11



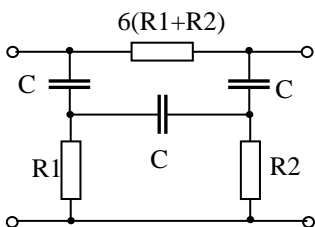
Полосовой фильтр

Вариант 12



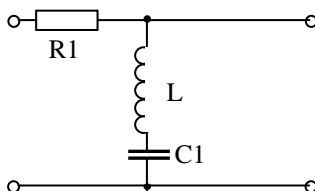
**Приподнятая лестничная
цепь (фильтр - пробка)**

Вариант 13



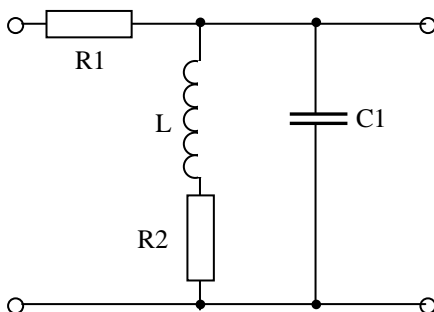
Цепи Холла (фильтр-пробка)

Вариант 14



**Последовательный
колебательный контур**

Вариант 15



**Параллельный
колебательный контур**

Рис. 1.1. Схемы пассивных фильтров

Номиналы элементов пассивных фильтров, изображенных на рис. 1.1

Номер варианта	Номиналы элементов						
	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	C1, нФ	C2, нФ	C3, нФ	L, мкГн
1	100	100		1,5	1,5		
2	200	200		1,5			
3	100	100		30	30		
4	100	100		1,5			
5	1000	1000		150	150		
6	1000	1000		150	150		
7	100	100		1,5	1,5		
8	100	100	50	30	15	15	
9							
10	100	100		33	1,5		
11	100	100		1,5	1,5		
12	100	100	1200	1,5	1,5	1,5	
13	100	100	1200	1,5	1,5	1,5	
14	10 ⁶			22			1
15	100	10		22			1

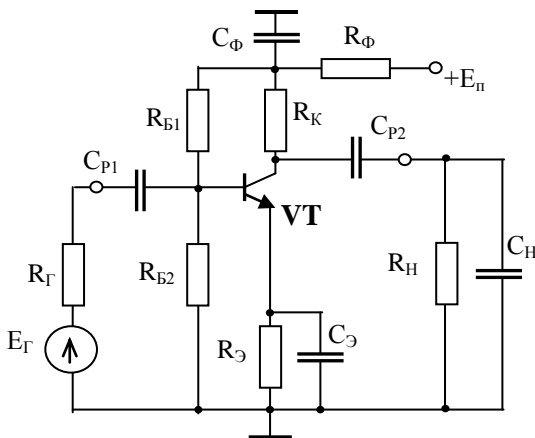


Рис. 1.2. Схема резисторного каскада на биполярном транзисторе

Таблица 1.4а

Номиналы элементов схемы, изображенной на рис. 1.2

Номер варианта	Номиналы элементов						
	1	2	3	4	5	6	7
R_K , кОм	1	0,150	2	0,33	1,5	0,24	0,51
$R_Э$, кОм	0	0,68	3	3	1,2	0,750	0,680
$R_{Б1}$, кОм	33	4,6	62	5,1	18	24	6,2
$R_{Б2}$, кОм	2,2	1,4	20	10	8,2	6,8	1,3
R_F , кОм	0	0	0	0	0	0	0
R_H , кОм	1	10	2	0,7	3	∞	0,1
$R_{Г}$, кОм	0	0	0,3	0,22	1,5	0,3	0.039
C_{P1} , мкФ	0,01	0,1	1	0,68	0,51	0,47	0,22
C_{P2} , мкФ	0,01	0,1	1	0,68	0,51	0,47	0,22
$C_Э$, мкФ	0	33	22	51	51	33	51
C_F , нФ	0	0	0	0	0	0	0
C_H , пФ	0	57	100	300	25	7	10
$E_{Г}$, мВ	Источник синусоидального напряжения, модель 1MHZ						
$E_{П}$, В	12	12	68	15	12	24	60
VT	BC548B	2N5088	MJE341	2N5209	2N5550	2N5088	BD157

Таблица 1.46

Номиналы элементов схемы, изображенной на рис. 1.2

Номер варианта	Номиналы элементов							
	8	9	10	11	12	13	14	15
R_K , кОм	0,1	0,047	0,053	0,390	0,13	0,024	0,24	1,3
$R_Э$, кОм	0,51	0,510	0,33	0,91	0,36	0,91	0,024	1,8
$R_{Б1}$, кОм	3	27	1,5	130	68	43	21	8,2
$R_{Б2}$, кОм	1,1	10	0,760	39	33	13	1,1	6,8
R_F , кОм	0	0,330	0	0	0,43	0	0,047	0
R_H , кОм	500	0,8	1	0,5	0,2	1	1,1	1
R_T , кОм	0,062	0,160	0	0,12	0,12	0	0,20	1,1
C_{P1} , мкФ	0,68	0,51	0,1	0,22	0,1	0,47	0,11	0,68
C_{P2} , мкФ	0,68	0,51	1	0,22	0,68	0,47	0,11	0,68
$C_Э$, мкФ	47	51	10	51	100	100	51	50
C_F , нФ	0	1500	0	0	510	0	1	0
C_H , пФ	300	200	150	100	130	20	50	57
E_T , мВ	Источник синусоидального напряжения, модель 1MHZ							
$E_{П}$, В	42	42	9	–36	16	36	–42	27
VT	MJD47	2N5209	2N3905	2N3905	2N5088	MJE18 1	2N3905	2N5209

1.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Войдите в среду МС8 и получите на экране окно редактора схем со строками главного меню и инструментов.

2. Введите окно **Новый** (команда **Файл/Новый**) и установите режим **Схема**.

3. Выведите на экран в окне схем изображение тех компонент, которые указаны в Вашем варианте (табл. 1.1).



Позиционирование таких компонент, как диод, стабилитрон, операционный усилитель, транзистор любого типа, требует выбора конкретной модели этого элемента.

4. Сохраните выведенные изображения как файл COMP.CIR

5. Установите атрибуты всех компонент, сохраненных в файле COMP.CIR согласно табл. 1.2а или 1.2б.

6. Сохраните полученный файл под именем ATTRIB.CIR.

7. Создайте чертеж схемы пассивного фильтра, приведенного на рис. 1.1, в таком виде, чтобы его можно было анализировать в частотной области (режим АС). Для этого к его входу должен быть подключен генератор синусоидального сигнала (модель 1MHZ) . Номиналы элементов взять из табл. 1.3.



Не забудьте установить символ «земля», так как без этого символа анализ схемы невозможен!

8. Сохраните введенную схему как файл FILTR.CIR.

9. Создайте чертеж резисторного каскада на биполярном транзисторе, схема которого приведена на рис.1.2. Номиналы элементов и тип усилительного элемента взять из табл. 1.4а или 1.4б.

10. Сохраните созданный чертеж в файле с именем CASCAD.CIR.

1.5. ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Лабораторная работа должна содержать:

- титульный лист;
- задание;
- распечатку выведенных на экран схемных обозначений и атрибутов тех компонент, которые оговорены в вашем задании;

- распечатки чертежей созданных схем;

На титульном листе указываются данные студента (фамилия, имя, отчество), номер группы, номер варианта название дисциплины. Образец оформления титульного листа приведён на рис. 1.3.

Отчет по лабораторной работе оформляется на компьютере в текстовом процессоре Word.

Шрифт – Times New Roman, размер шрифта – 14 пунктов, междустрочный интервал – полуторный.

Абзацы выравниваются по ширине. «Красная строка» – 1,25 см.

Размер полей: нижнее – 2 см, верхнее – 2 см, левое – 2 см, правое – 1 см.

Страницы в документе должны быть пронумерованы.

1.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего предназначена система МС8?
2. Каковы основные возможности системы МС8?
3. Как открыть новый файл, загрузить старый?
4. Как сохранить файл ? Как присвоить ему новое имя?
5. Какие способы ввода схемных компонентов вам известны? Покажите, как это делается на практике.
6. Как присвоить конкретные значения параметрам (атрибутам) компонентов?
7. Какие основные группы компонентов представлены в библиотеках? Чего, на ваш взгляд, не хватает?
8. Как изменить (отредактировать) схему и атрибуты отдельных компонентов?
9. Как объединить отдельные схемы или их фрагменты в новую общую схему? Как вывести на экран и исключить номера узлов, позиционные обозначения и имена компонентов, сопроводительные тексты.
10. В чем, на Ваш взгляд, достоинства и недостатки МС8 применительно к операциям по вводу анализируемых схем?

Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра РП и РПУ

Лабораторная работа № 1
«Основы компьютерного моделирования
и проектирования РЭС»

Вариант –

Факультет: РЭФ
Группа:
Студент:
Преподаватель:

2009

Рис. 1.3. Образец титульного листа

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ В СТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

2.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

2.1.1. Статические характеристики биполярного транзистора

В электронике наибольшее распространение получили каскады, выполненные на транзисторах, включенных по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Потому в настоящем разделе рассматриваются методы построения выходных и входных статических вольт-амперных характеристик транзистора (в дальнейшем просто статических характеристик) именно для такой схемы включения.

Семейством входных статических характеристик называется зависимость тока базы I_B от напряжения база-эмиттер $U_{БЭ}$ при фиксированном напряжении коллектор-эмиттер $U_{КЭ}$:

$$I_B = f(U_{БЭ})|_{U_{КЭ}=\text{const}} \quad (2.1)$$

Семейством выходных статических характеристик называется зависимость тока коллектора I_K от напряжения коллектор-эмиттер $U_{КЭ}$ при фиксированном токе базы I_B :

$$I_K = f(U_{КЭ})|_{I_B=\text{const}} \quad (2.2)$$

Таким образом, для получения зависимостей (2.1) и (2.2) необходимо иметь возможность управлять током базы и напряжением коллектор-эмиттер и измерять ток коллектора, ток базы, напряжение коллектор-эмиттер и напряжение база-эмиттер. В среде МС8 эти

возможности обеспечивает схема на рис. 2.1, которая фактически моделирует физический стенд для измерения статических характеристик транзистора.

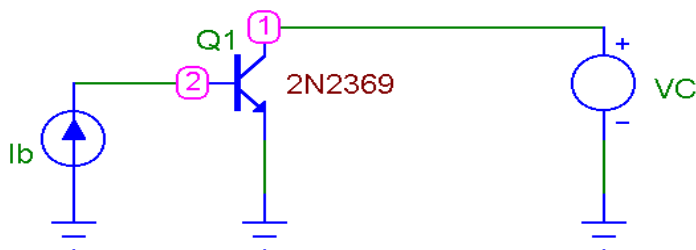


Рис. 2.1. Схема для расчета статических-вольтамперных характеристик биполярного транзистора

Схема состоит из источника постоянного тока базы I_B , источника постоянного коллекторного напряжения V_C и исследуемого транзистора Q_1 . Во всех примерах этого раздела в качестве исследуемого транзистора будем использовать высокочастотный маломощный n - p - n -транзистор типа 2N2369. Следует отметить, что при исследовании транзистора p - n - p -структуры полярность подключения источника тока I_B и источника напряжения V_C меняется на противоположную.

2.1.2. Расчет семейства выходных статических характеристик

Для расчета статических характеристик транзистора используется режим моделирования схем по постоянному току программы МС8. Этот режим вызывается после построения схемы (рис. 2.1) командой меню **Анализ → Передаточные характ. по постоянному току**. Если схема не содержит ошибок, то после выполнения этой команды появляется окно установки параметров моделирования схемы по постоянному току **Передаточные характеристики по постоянному току** (рис. 2.2). Следует отметить, что значения тока источника I_B и напряжения источника V_C задаются непосредственно в процессе моделирования, поэтому при создании схемы они могут иметь произвольные значения.

Рассмотрим опции окна моделирования **Передаточные характеристики по постоянному току**:

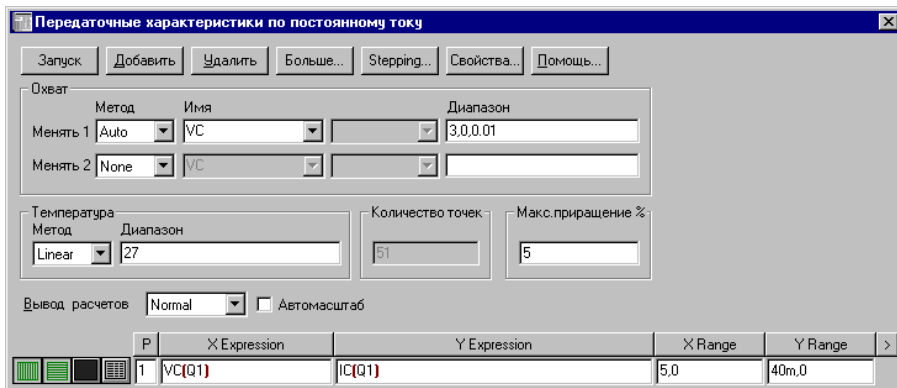


Рис. 2.2. Вид окна установки параметров при расчете выходных статических характеристик биполярного транзистора

Команды

Запуск – начало моделирования. Расчет режима и вывод результатов.

Добавить – добавление еще одной строки спецификации вывода результатов после строки, отмеченной курсором. В этой строке устанавливаются способ отображения результатов и аналитические выражения для построения графиков.

Удалить – удаление строки спецификации вывода результатов, отмеченной курсором.

Больше – открытие дополнительного окна для ввода текста большого размера при расположении курсора в одной из граф, содержащих выражения, например X Expression.

Stepping – открытие диалогового окна задания вариации параметров. Позволяет задать диапазон и шаг изменения параметра одного из компонентов схемы. Например, в нашем случае это изменение тока базы (рис. 2.3), что позволяет получить семейство выходных статических характеристик транзистора.

Свойства – открытие дополнительного окна для оформления графика (толщина, цвет, характер линии и т.д.)

Параметры моделирования:

Можно менять параметры двух источников постоянного тока или напряжения. Записи для второго источника могут отсутствовать.

Имя – имя источника постоянного тока или напряжения. В нашем случае это источник коллекторного напряжения VC.

Диапазон – пределы изменения варьируемого источника тока или напряжения в формате:

Конечное_значение [, **Начальное_значение** [, **Максимальный_шаг**]] .

Количество точек – количество точек рассчитываемых зависимостей, которые выводятся в табличной форме.

Температура – диапазон изменения температуры в формате

Максимум [, **Минимум** [, **Шаг**]] .

Температура указывается в градусах Цельсия. При моделировании учитывается зависимость параметров элементов от температуры.

Макс. приращение, % – максимально допустимое приращение графика первой функции на интервале шага первого источника. Влияет на шаг, с которым рассчитываются зависимости.

Кнопки управления выводом графиков

- 1) линейный/логарифмический масштаб по оси x;
- 2) линейный/логарифмический масштаб по оси y;
- 3) выбор цвета графика;
- 4) формировать/не формировать таблицы значений рассчитываемых характеристик;
- 5) выбор зависимости для статистического анализа;

Параметры вывода результатов

P – порядковый номер выводимой зависимости;

X Expression – выражение для расчета зависимости по оси x.

Y Expression – выражение для расчета зависимости по оси y.

X Range – максимальное и минимальное значение по оси x в формате:

Максимум [, **Минимум**] .

Y Range – максимальное и минимальное значение по оси y.

При расчете выходных статических характеристик по оси x откладывается значение напряжения коллектор–эмиттер, а по оси y – значение тока коллектора. Следовательно, в поля **X Expression** и **Y Expression** нужно записать выражения: $VC(Q_1)$ и $IC(Q_1)$ соответственно.

Теперь для получения семейства выходных статических характеристик следует задать диапазон изменения тока базы, для чего открываем окно **Stepping (По шагам)** (рис. 2.3).

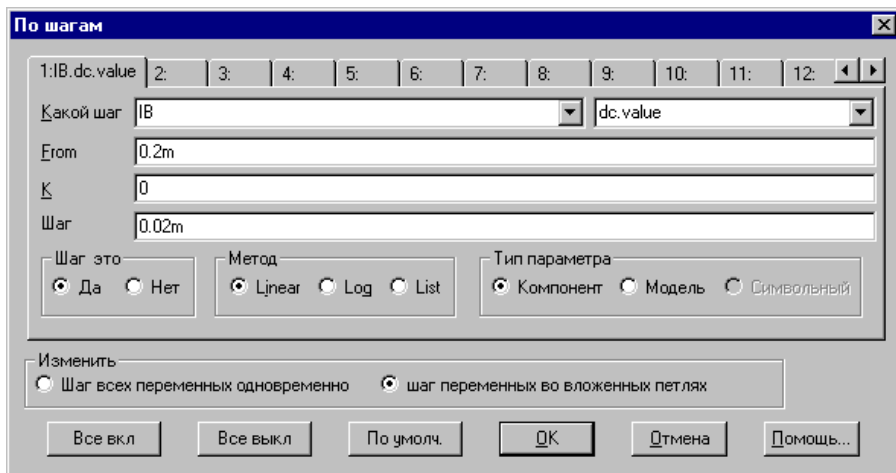


Рис. 2.3. Вид окна **По шагам** с установками для изменения тока базы

Выбор диапазонов изменений значений тока базы I_B и напряжения коллектор-эмиттер V_C во многом зависит от интересов, которые преследует разработчик при выборе режима работы транзистора по постоянному току (возможность питания каскада от источника с определенным напряжением, хорошая термостабильность, получение максимального усиления, минимального коэффициента шума, минимального энергопотребления и т. .). В вашем случае до начала расчета статических характеристик транзистора его режим работы будет известен (см. **Порядок проведения работы**, пункт 6). Поэтому диапазон изменения токов и напряжений выберем таким, чтобы рабочая точка (точка покоя) располагалась примерно в середине этого диапазона.

Для транзистора 2N2369 определен следующий режим по постоянному току: $I_B = 80 \text{ мкА}$, $U_{КЭ} = 1,44 \text{ В}$. Исходя из этих данных для расчета статических характеристик в окрестности рабочей точки, диапазон изменения напряжения коллектор-эмиттер можно взять равным $0 \dots 3 \text{ В}$ с шагом $0,01 \text{ В}$ (см. рис. 2.2), а диапазон тока базы $0 \dots 0,2 \text{ мА}$ с шагом 20 мкА рис. 2.3. После выполнения команды **Запуск** на экран будет выведено семейство входных статических характеристик (рис. 2.4).

При этом значения тока базы на график не выводятся. Нижней кривой соответствует ток базы 20мкА, а верхней – 200 мкА, шаг изменения тока базы – 20 мкА.

2.1.3. Расчет семейства входных статических характеристик

Расчет семейства входных статических характеристик биполярного транзистора (2.1) аналогичен расчету выходных характеристик. Поэтому в данном разделе мы лишь коротко напомним последовательность расчета с акцентом на различия

1. Для расчета используется схема рис. 2.1.

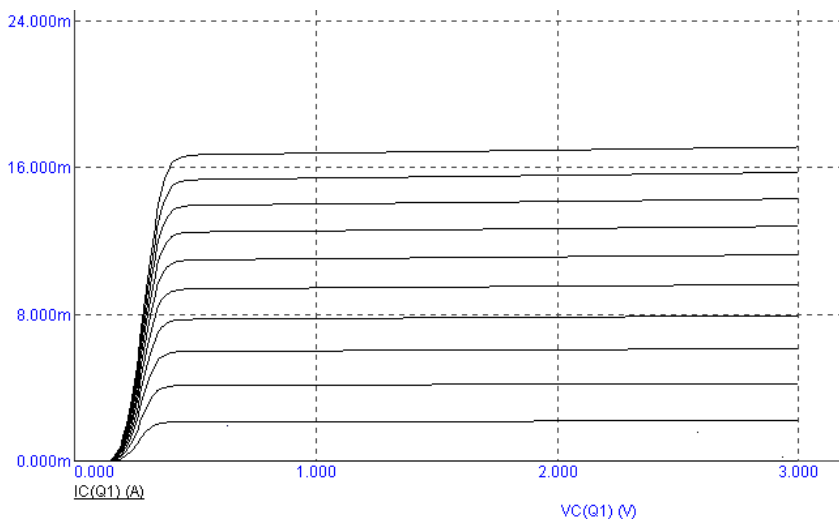


Рис. 2.4. Семейство выходных статических характеристик биполярного транзистора 2N2369

2. Переходим в режим анализа схем по постоянному току **Анализ**
→ **Передаточные характ. по постоянному току.**

3. Устанавливаем параметры моделирования в окне **Передаточные характеристики по постоянному току:**

3.1. В строку **Менять 1** (см. рис. 2.2) вписываем ток базы I_B , диапазон изменения 0...0,16 мА с шагом 0,01 мА.

3.2. Значение, откладываемое по оси x – напряжение база-эмиттер (X Expression = $V_{be}(Q1)$)).

3.3. Значение, откладываемое по оси y – ток базы (Y Expression = $I_B(Q1)$).

3.4. Диапазон отображения графиков устанавливаем исходя из удобства их дальнейшего использования (X Range = 2.5,0.3), (Y Range = 0.4m,0).

4. В окне **Stepping (По шагам)** в качестве изменяемого параметра возьмем напряжение на коллекторе **VC**. Диапазон изменения этого параметра зададим 0...3 В с шагом 0,2 В.

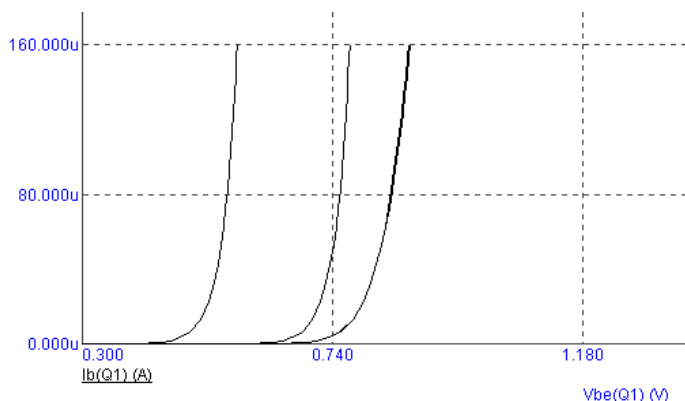


Рис. 2.5. Семейство входных статических характеристик биполярного транзистора 2N2369

5. Выполняем команду Запуск. После этого на экран будет выведено семейство входных статических характеристик (рис. 2.5). При этом значения напряжения коллектор-эмиттер на график не выводится. Левая кривая соответствует напряжению 0В, средняя – 0,2 В, остальные, слившиеся в одну правую кривую, – напряжениям от 0,4 до 3 В.

2.1.4. Расчет нагрузочных прямых постоянного и переменного тока

Выходные динамические характеристики постоянного и переменного тока при активной нагрузке в системе координат выходной цепи представляют собой прямые, поэтому и называются нагрузочными прямыми соответственно постоянного и переменного тока.

Для нахождения уравнения нагрузочной прямой по постоянному току составим (пренебрегая током базы) уравнение Кирхгофа для выходной цепи транзистора в схеме рис. 1.2 работы № 1:

$$E_{\Pi} = I_K(R_K + R_{\Sigma} + R_{\Phi}) + U_{KЭ}$$

или

$$I_K = (E_{\Pi} - U_{KЭ})/R_{\text{пост}}, \quad (2.3)$$

где $R_{\text{пост}} = R_K + R_{\Sigma} + R_{\Phi}$ – сопротивление нагрузки для постоянного тока.

Уравнение (2.3) и есть уравнение нагрузочной прямой постоянного тока, которая строится на графике 2.4.

Нагрузочная прямая переменного тока пересекается с нагрузочной прямой постоянного тока в рабочей точке, а ее наклон определяется величиной активного сопротивления нагрузки для переменного тока $R_{\text{пер}}$. Для схемы рис. 1.2

$$R_{\text{пер}} = R_K R_H / (R_K + R_H).$$

Таким образом, нагрузочная прямая переменного тока описывается уравнением прямой, проходящей через заданную точку (точку покоя) под заданным углом, определяемым величиной активного сопротивления нагрузки $R_{\text{пер}}$.

Если координаты рабочей точки (точки покоя) обозначить I_K и $U_{KЭ}$, то уравнение нагрузочной прямой переменного тока примет вид

$$i_k = I_K - u_{KЭ} - U_{KЭ} / R_{\text{пер}}. \quad (2.4)$$

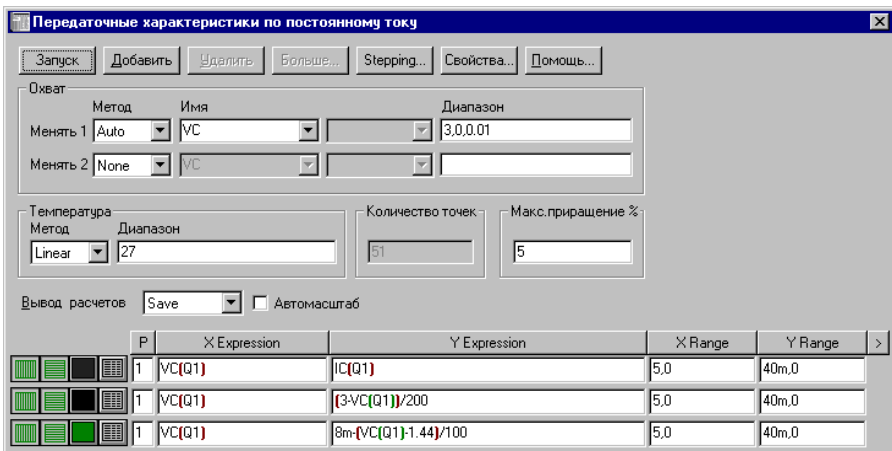


Рис. 2.6. Вид окна установки параметров при расчете выходных статических и динамических характеристик биполярного транзистора

Для транзистора 2N2369 $I_K = 8 \text{ мА}$, $U_{КЭ} = 1,44 \text{ В}$, $E_{п} = 3 \text{ В}$, $R_{\text{пост}} = 100 \text{ Ом}$, $R_{\text{пер}} = 100 \text{ Ом}$.

Чтобы построить нагрузочные прямые по постоянному и переменному току, необходимо в окне рис. 2.2 добавить еще две строки спецификации вывода результатов (рис. 2.6). В этих строках в поле Y Expression следует привести аналитические выражения (2.3) и (2.4) для нагрузочных прямых постоянного и переменного тока. Аргументом этих функций будет коллекторное напряжение $VC(Q1)$.

После выполнения команды **Запуск** на экран будет выведено семейство выходных статических характеристик и нагрузочные прямые (рис. 2.7).

2.1.5. Построение нагрузочных прямых

1. Откройте файл CASCAD.CIR, созданный в работе № 1.
2. В меню Анализ установите режим Расчет по постоянному току и определите потенциалы всех узлов и токи, протекающие через элементы схемы.
3. Проверьте правильность законов Кирхгофа для всех узлов и замкнутых контуров схемы.

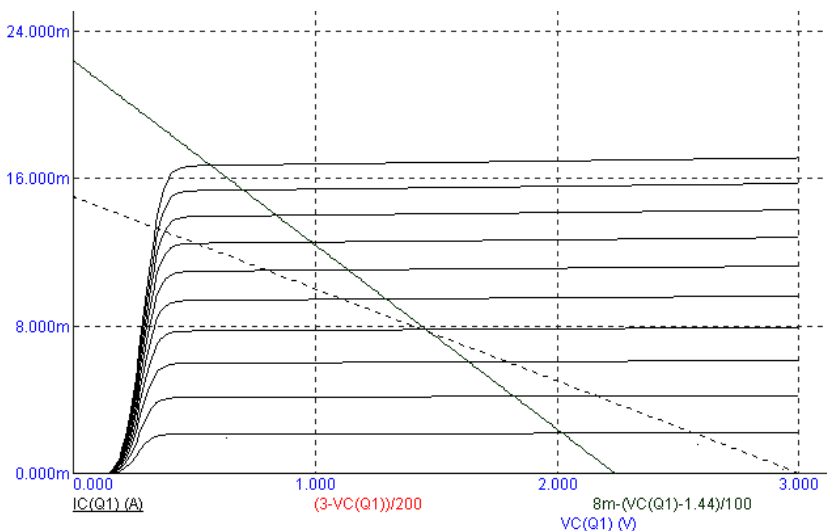


Рис. 2.7. Выходные статические и динамические характеристики биполярного транзистора

4. Рассчитайте мощность, потребляемую от источника питания.
5. Определите резистор, на котором рассеивается наибольшая мощность, и приведите ее значение.
6. Определите координаты рабочей точки (точки покоя): I_K , $U_{KЭ}$, I_B , $U_{БЭ}$.
7. Создайте файл VAX_OUT.CIR, введите схему для снятия вольт-амперных статических характеристик транзистора.
8. Постройте семейство выходных статических характеристик, выбрав такой диапазон изменения токов и напряжений, чтобы точка покоя лежала примерно посередине этого диапазона.
9. Создайте файл VAX_IN.CIR, введите схему рис. 2.1 и постройте семейство входных статических характеристик вашего транзистора.
10. На семействе выходных статических характеристик постройте нагрузочные прямые по постоянному и переменному току.

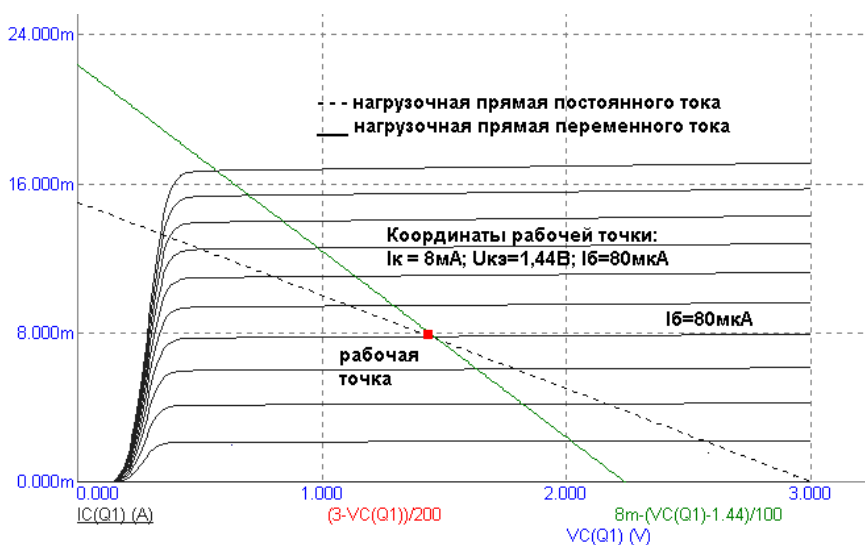


Рис. 2.8. Выходные статические и динамические характеристики биполярного транзистора

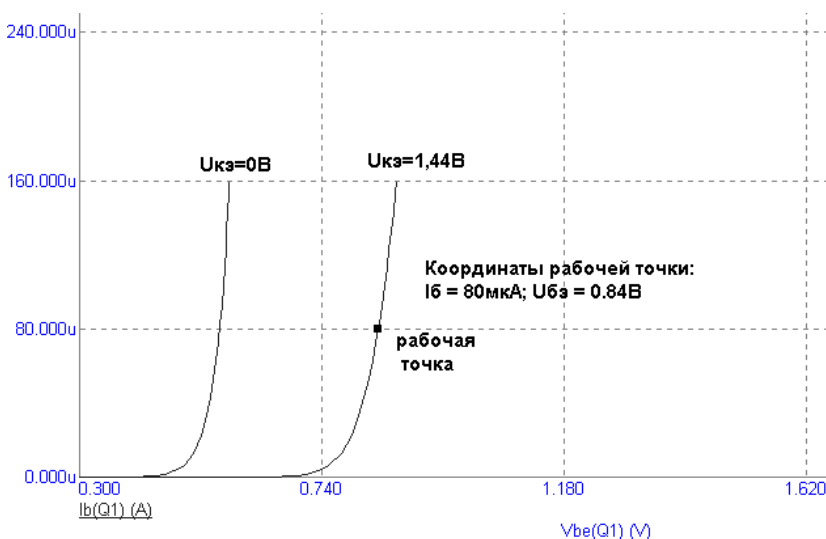


Рис. 2.9 Входные статические характеристики биполярного транзистора

2.2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Исследуйте усилительный каскад из лабораторной работы № 1 (рис. 1.2) в статическом режиме, а именно:

- 1) определите потенциалы всех узлов и токи, протекающие через элементы схемы;
- 2) проверьте правильность законов Кирхгофа для всех узлов и замкнутых контуров схемы;
- 3) рассчитайте мощность, потребляемую от источника питания.
- 4) определите резистор, на котором рассеивается наибольшая мощность, и приведите ее значение;
- 5) определите координаты рабочей точки (точки покоя) транзистора: I_K , $U_{КЭ}$, I_B , $U_{БЭ}$;
- 6) постройте семейство выходных и входных статических характеристик транзистора;
- 7) на семействе выходных статических характеристик постройте нагрузочные прямые по постоянному и переменному току;
- 8) оформите полученные характеристики так, как это показано на рис. 2.8 и 2.9.

2.3. ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Лабораторная работа должна содержать:

- титульный лист;
- задание;
- результаты по всем пунктам задания;

Требования к оформлению и защите лабораторных работ по данной дисциплине приведены в лабораторной работе № 1.

2.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое статический режим работы схемы?
2. Для чего нужен анализ схем в статическом режиме?
3. Какими уравнениями описывается поведение схемы в режиме DC? Какие методы решения таких уравнений вы знаете?
4. Какие характеристики схемы могут быть получены в режиме DC?
5. Возможен ли DC анализ для нелинейных схем?
6. Как следует подготовить схему для анализа в режиме DC?
7. Как учитываются свойства емкостей и индуктивностей схемы при DC анализе?
8. Для чего используется режим Probe?
9. Как выделить фрагмент графика для рассмотрения в увеличенном масштабе?
10. Каков смысл опции Stepping? Для чего его можно использовать?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ И ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАССИВНЫХ И АКТИВНЫХ СХЕМ

3.1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При аналитическом описании электронных цепей широко используются функции комплексной переменной $p = \delta + j\omega$, получившие название **функций цепей**. Они представляют собой отношение лапласовых преобразований (изображений) реакции цепи (выходной переменной) и возбуждающего воздействия (входной переменной):

$$H(p) = \frac{\text{изображение вы ходной переменной}}{\text{изображение входной переменной}}.$$

Если входная и выходная переменные оцениваются на разных парах полюсов (узлов) цепи, то такая функция цепи называется **передаточной функцией (ПФ)** и обозначается как **$K(p)$** .

Модуль передаточной функции называется **амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ)**, а ее аргумент – **фазочастотной характеристикой (ФЧХ)**.

АЧХ строится в прямоугольной декартовой системе координат, где по горизонтальной оси откладывается частота в логарифмическом масштабе, а по вертикальной – абсолютное или выраженное в децибелах нормированное значение модуля ПФ. Чаще всего нормирование производится по максимальному значению модуля ПФ (рис. 3.1).

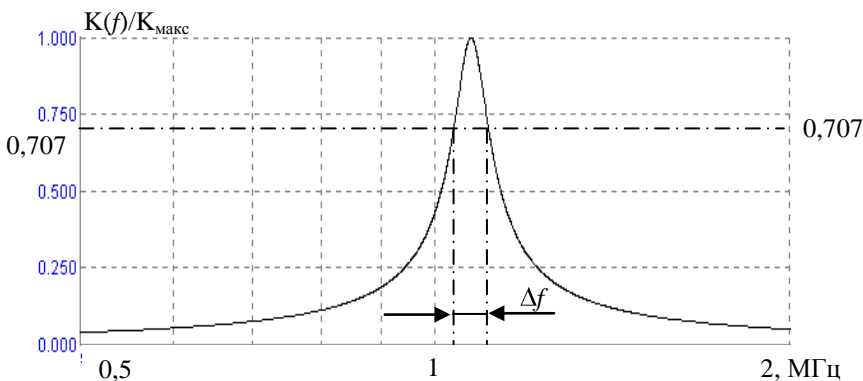


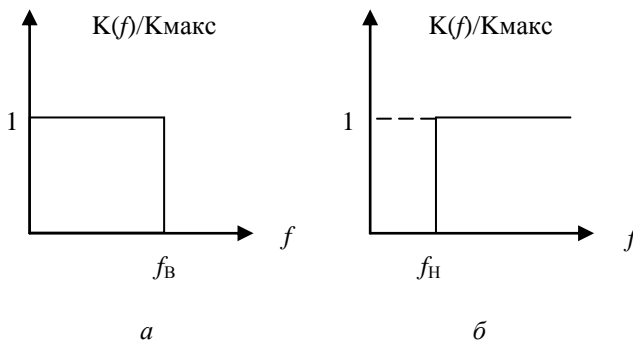
Рис. 3.1. Реальная АЧХ полосового фильтра

Под **полосой пропускания** Δf понимают область частот, в которой АЧХ оказывается выше определенного уровня (обычно это уровень 0,707 или -3 дБ от максимального значения). В случае нормированной АЧХ максимальное значение равно единице (рис. 3.1). Наоборот, если АЧХ в какой-то полосе частот меньше уровня 0,707 (-3 дБ), то эту полосу называют **полосой задержания**.

Значение частоты на границе полосы пропускания называют **частотой среза**.

Фильтры – это устройства, целенаправленным образом изменяющие спектры сигналов.

По виду АЧХ фильтры подразделяются на несколько типов (рис. 3.2).



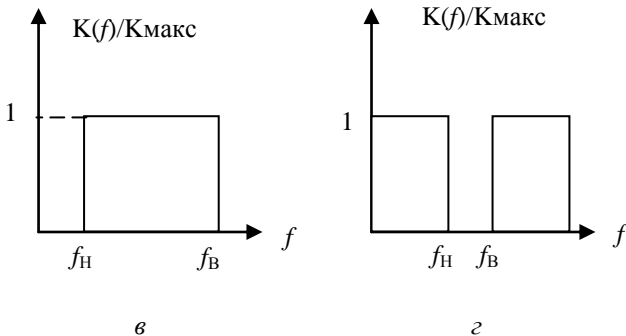


Рис. 3.2. Идеальные АЧХ основных типов частотно-избирательных фильтров:

a – фильтр нижних частот (ФНЧ); *б* – фильтр верхних частот (ФВЧ); *в* – полосовой фильтр (ПФ); *г* – заграждающий фильтр (ЗФ)

Фильтры с идеальными АЧХ (рис. 3.2) физически не реализуемы. Для реальных АЧХ (см. рис. 3.1) характерно непостоянство коэффициента передачи как в полосе пропускания, так и в полосе задержания, а также плавность перехода от одной полосы к другой.

Предлагаемая для исследования активная схема (см. рис. 1.2) представляет собой резисторный каскад на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером. АЧХ такого каскада (рис. 3.3) имеет четко выраженное деление на три частотных диапазона: область нижних, средних и верхних частот.

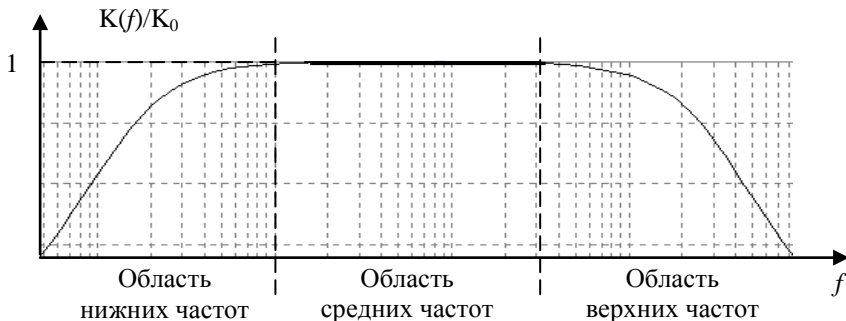


Рис. 3.3. Нормированная АЧХ резисторного каскада:

K_0 – коэффициент передачи в области средних частот

На поведение АЧХ в области нижних частот влияют разделительные конденсаторы C_{P1} и C_{P2} , а также конденсатор в цепи эмиттера $C_Э$. Если эти конденсаторы вносят небольшие искажения, то их влияние на АЧХ можно рассматривать независимо друг от друга, т.е. изучая влияние одного конденсатора, другие полагаем равными бесконечности. Перемножая или складывая полученные АЧХ, можно построить результирующую АЧХ в области нижних частот. Сложение АЧХ производится в том случае, если по оси ординат откладывается нормированное усиление в децибелах.

Таким образом, в области нижних частот имеем три независимые АЧХ, частоты среза которых описываются выражениями:

$$f_{\text{нс1}} = \frac{1}{2\pi\tau_{P1}}, \quad f_{\text{нс2}} = \frac{1}{2\pi\tau_{P2}}, \quad f_{\text{нс3}} = \frac{1}{2\pi\tau_Э} \sqrt{(1 + R_Э g_{21})^2 - 2},$$

где $\tau_{P1} = C_{P1}(R_Г + R_{\text{вх}})$, $\tau_{P2} = C_{P2}(R_К + R_Н)$, $\tau_Э = C_Э R_Э$ – постоянные времени соответственно разделительных конденсаторов и конденсатора в цепи эмиттера; $R_{\text{вх}}$ – входное сопротивление резисторного каскада в области нижних частот; g_{21} – проводимость прямой передачи транзистора в этой же области частот.

Для расширения полосы пропускания в сторону нижних частот, т.е. для уменьшения частот среза $f_{\text{нс1}}$, $f_{\text{нс2}}$ и $f_{\text{нс3}}$, необходимо увеличивать постоянные времени τ_{P1} , τ_{P2} и $\tau_Э$. Чтобы при этом не менялся режим работы каскада по постоянному току, его коэффициент усиления в диапазоне средних частот и форма АЧХ в области верхних частот, то это возрастание целесообразно производить увеличением емкостей соответствующих конденсаторов.

Фильтр $R_Ф C_Ф$ в цепи питания осуществляет коррекцию (исправление) АЧХ в диапазоне нижних частот, т.е. уменьшает частоту среза $f_{\text{нс2}}$. При малых значениях емкости $C_Ф$ АЧХ на нижних частотах может иметь подъем.

В области верхних частот на форму АЧХ оказывают влияние частотные (инерционные) свойства транзистора и емкость нагрузки. Частота среза в этом диапазоне частот

$$f_{\text{вс}} = \frac{1}{2\pi\tau_Б}, \quad \text{где } \tau_Б = R_2(C_{22} + C_Н) + \tau$$

– постоянная времени каскада в области верхних частот; C_{22} – выходная емкость транзистора; а τ – его постоянная времени, сопротивление

$$R_2 = \frac{R_K R_n}{R_K + R_n}.$$

Для расширения полосы пропускания в сторону верхних частот (т. е. для увеличения $f_{вс}$) следует уменьшать емкость нагрузки и величину сопротивления R_2 и выбирать более высокочастотный транзистор (уменьшать C_{22} и τ).

Переходная характеристика (ПХ) представляет собой зависимость от времени выходной величины (рис. 3.4) при ступенчатом изменении входной $u_1(t) = U_1 1(t)$, где

$$1(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq 0 \\ 1 & \text{при } t > 0 \end{cases}$$

– единичная функция.

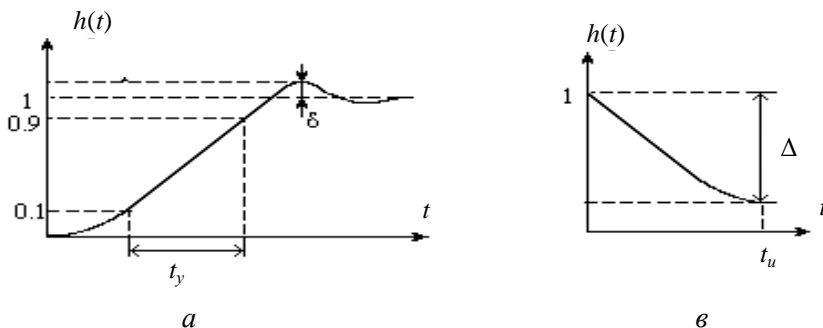


Рис. 3.4. Нормированные ПХ в области малых (а) и больших времен (б)

Зная ПХ, можно определить искажения, которые претерпевает импульсный сигнал, проходя через линейную систему. Эти искажения называются **переходными**. Количественная оценка переходных искажений основана на сравнении реальной ПХ с идеальной, изменяющейся по закону единичной функции. Общепринятое обозначение ПХ – $h(t)$. При оценке переходных искажений удобнее пользоваться нормированными ПХ $h(t) = u_2(t)/KU_1$. Здесь U_1 – размах (амплитуда) входного сигнала; $u_2(t)$ – выходное напряжения схемы; K – тот коэффициент усиления,

которым обладал бы схема при отсутствии реактивных элементов. Различают переходные искажения в области малых и больших времен. В области малых времен это время установления t_y и выброс δ (рис. 3.4,а).

Время установление – то время, в течение которого нормированная переходная характеристика изменяется от 0,1 до 0,9 своего установившегося (в области малых времен) значения.

Выброс – это максимальное превышение ПХ своего установившегося значения.

В области больших времен переходные искажения оцениваются спадом плоской вершины импульса Δ за промежуток времени, равный длительности импульса $t_{\text{и}}$ (рис.3.4,б).

Количественно и выброс и спад оцениваются в процентах относительно установившегося значения. Так как обычно $t_{\text{и}} \gg t_y$, то для изображения фронта и плоской части ПХ приходится использовать два отдельных графика с масштабами времени, отличающимися на несколько порядков.

Между АЧХ и ПХ линейной схемы существует однозначная связь. Изменяя поведения схемы в области верхних частот, мы изменяем ее поведения и в области малых времен и наоборот. Аналогично при изменении формы АЧХ на нижних частотах изменяется форма ПХ в области больших времен. В частности, для резисторного каскада (см. рис. 1.2) справедливы следующие равенства:

$$t_y = \frac{0,35}{f_{\text{вс}}}, \quad \Delta = 2\pi t_{\text{и}} f_{\text{нс}}.$$

Таким образом, для уменьшения времени установления надо расширять полосу пропускания каскада в сторону верхних частот, а для уменьшения спада – в сторону нижних.

3.2. ЗАДАНИЕ

Исследовать частотно-избирательный фильтр (см. рис. 1.1) и усилительный каскад (см. рис. 1.2) в частотной и временной областях, т. е. в установившемся и переходном режимах, а именно:

1) рассчитать ФЧХ и нормированную АЧХ для пассивного фильтра (см. рис. 1.1) в диапазоне частот, рекомендуемом в табл. 3.1;

2) для фильтра верхних или нижних частот определить частоту среза, для полосового или заграждающего фильтра найти соответственно

полосу пропускания или полосу задержания на уровне -3 дБ и центральную частоту;

- 3) рассчитать АЧХ и ФЧХ усилительного каскада;
- 4) определить коэффициент усиления каскада, соответствующий плоской части АЧХ (K_0);
- 5) рассчитать нормированную АЧХ ($K(f)/K_0$);
- 6) определить частоты среза в области нижних и верхних частот;
- 7) изменить номиналы элементов схемы таким образом, чтобы частота среза в области нижних частот уменьшилась примерно в два раза, а в области верхних частот во столько же раз возросла;
- 8) изучить реакцию каскада на прямоугольный импульс различной длительности при работе каскада в линейном режиме;
- 9) определить время установления и спад плоской вершины импульса;
- 10) изменить параметры схемы так, чтобы время установления уменьшилось в 1,5 раза, а спад (при той же длительности импульса) на 10 %.

3.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Откройте файл FILTR.CIR, созданный в лабораторной работе № 1.
2. В меню **Анализ** установите режим **Частотные характеристики**.
3. В открывшемся окне (рис. 3.5) в строке **Диапазон частот** установите рекомендуемый для вашего фильтра диапазон частот (табл. 3.1) в формате: **Максимальная частота** [, **Минимальная частота**].

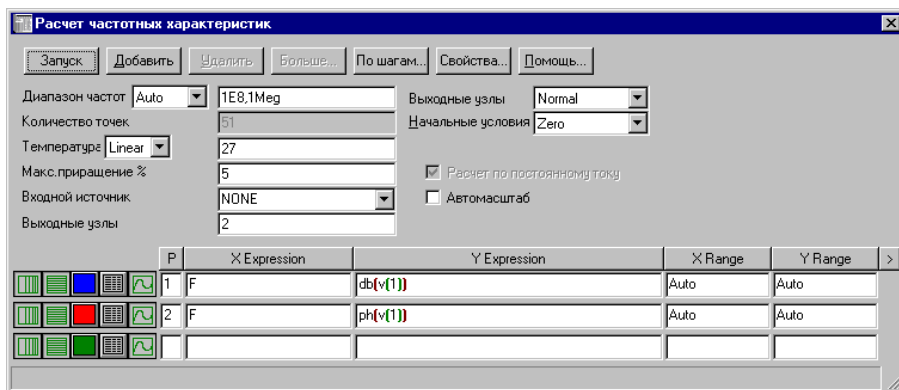


Рис. 3.5. Вид окна установки параметров при его первом вызове

4. Таблица в нижней части окна заполняется автоматически: в поле **X Expression** для обоих графиков устанавливается частота **F**; в поле **Y Expression** для первого графика – напряжение на первом узле в децибелах, а для второго – фаза этого напряжения в градусах. В окнах **X Range**, **Y Range** вместо числовых значений стоит слово **Auto**. Это означает, что диапазон изменений значений по оси **X** и **Y** при построении графиков выбирается автоматически.



Так как амплитуда синусоидального источника равна 1 В, то значение напряжения в узле совпадает со значением коэффициента передачи до этого узла.

5. Если номер выходного узла отличается от 1, то необходимо в поле **Y Expression** сделать соответствующую замену.

Таблица 3.1

Рекомендуемый диапазон частот

Диапазон частот	Вариант														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$f_{\text{макс}}$ кГц	10^3	10^4	10^3	10^4	100	100	10^4	10^3	10^3	10^4	10^4	10^4	10^4	10^3	10^4
$f_{\text{мин}}$ кГц	10	10	1	100	1	1	100	10	1	10	100	10	10	500	100

6. Выполните команду **Запуск**. После этого на экране появятся интересующие вас зависимости. Если диапазон изменений значений по осям **X** и **Y** вас не устраивает, то необходимо вновь открыть окно установки параметров командой **АС/Параметры анализа**, отключить режим **Автомасштаб** и установить такой диапазон изменений значений по осям **X** и **Y**, который придаст бы вашим графикам более наглядный вид.

7. Если график имеет вид кусочно-ломаной зависимости, то это признак низкой точности вычисления и величину **Макс. приращение %** следует уменьшить.

8. Для фильтра верхних или нижних частот определить частоту среза. Для полосового или заграждающего фильтра найти соответственно полосу пропускания или полосу задержания на уровне–3 дБ и центральную частоту.

9. Откройте файл **CASCAD.CIR**, созданный в лабораторной работе № 1.

10. Прделав пункты 2–7 методических указаний для усилительного каскада, рассчитайте его АЧХ и ФЧХ.

11. Выполните все пункты задания, связанные с исследованием частотных свойств усилительного каскада



При изменении частот среза режим работы транзистора по постоянному току меняться не должен.

12. Сохраните файл **CASCAD.CIR** с установленными в окне **Расчет частотных характеристик** параметрами как **CASCAD_AX.CIR**.

13. Откройте файл **CASCAD.CIR**, верните номиналы элементов схемы в исходное состояние и в меню **Анализ** установите режим **Переходные процессы..**

14. Установите частоту синусоидального источника 1 кГц и амплитуду 50 мВ. Контролируя осциллограммы (временные зависимости) входного и выходного напряжения, найдите амплитуду входного сигнала, которая соответствует верхней границе линейного режима. В строке **Диапазон времени** установите такой интервал, чтобы на экране можно было наблюдать два периода синусоидального сигнала.

15. Подключите к входу схемы импульсный источник, который должен генерировать прямоугольные импульсы такой амплитуды, чтобы гарантировать работу каскада в линейном режиме.

16. Подберите длительность входного импульса такой, чтобы напряжение на выходе успело нарасти до установившегося значения.

17. Определите время установления.

18. Увеличьте длительность входного импульса, чтобы спад плоской вершины выходного импульса был не менее 20 %.

19. Измените номиналы элементов схемы (см. замечание к пункту 11) таким образом, чтобы время установления уменьшилось в 1,5 раза, а спад (при той же длительности импульса) на 10 %.

20. Сохраните файл **CASCAD.CIR** с установленными в окне **Анализ переходных характеристик** параметрами как **CASCAD_TR.CIR**.

3.4. ПРИМЕР АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА

Принципиальная схема исследуемого каскада приведена на рис. 3.6.

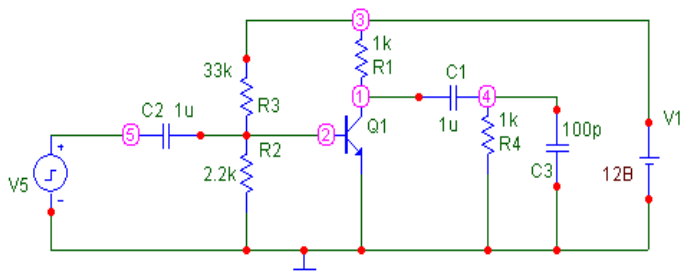


Рис. 3.6. Принципиальная схема исследуемого каскада

Согласно п. 13 методических указаний установим частоту синусоидального источника сигнала 1 кГц (период – 1 мс) и амплитуду 50 мВ. Чтобы на экране наблюдалось два периода сигнала, установим в строке **Диапазон времени** 2 мс и в окне **X Range** максимальное значение также 2 мс. Получим временные диаграммы, приведенные на рис. 3.7.

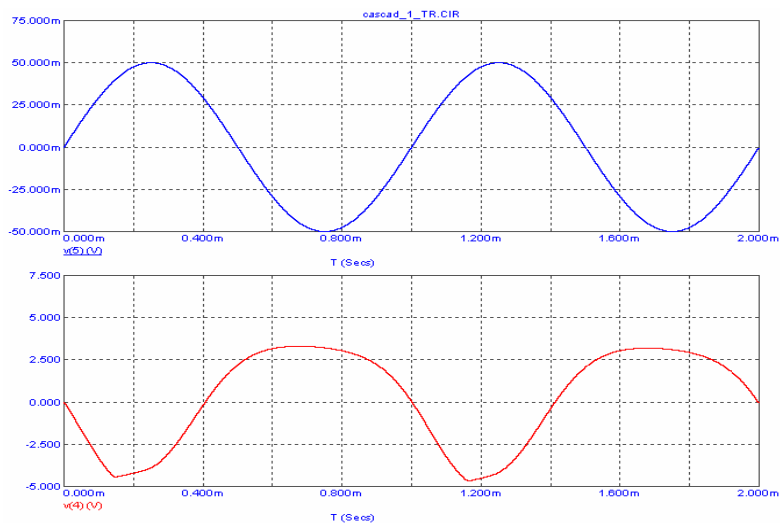


Рис. 3.7. Временные диаграммы входного и выходного напряжения каскада при его работе в нелинейном режиме (перегрузка!)

Из диаграмм следует, что при амплитуде входного сигнала 50 мВ каскад будет работать в нелинейном режиме (при гармоническом входном воздействии форма выходного напряжения отличается от гармонической). Уменьшая амплитуду входного сигнала до 10 мВ, добиваемся совпадения форм входного и выходного сигнала (рис. 3.8). Такой режим работы называется линейным.

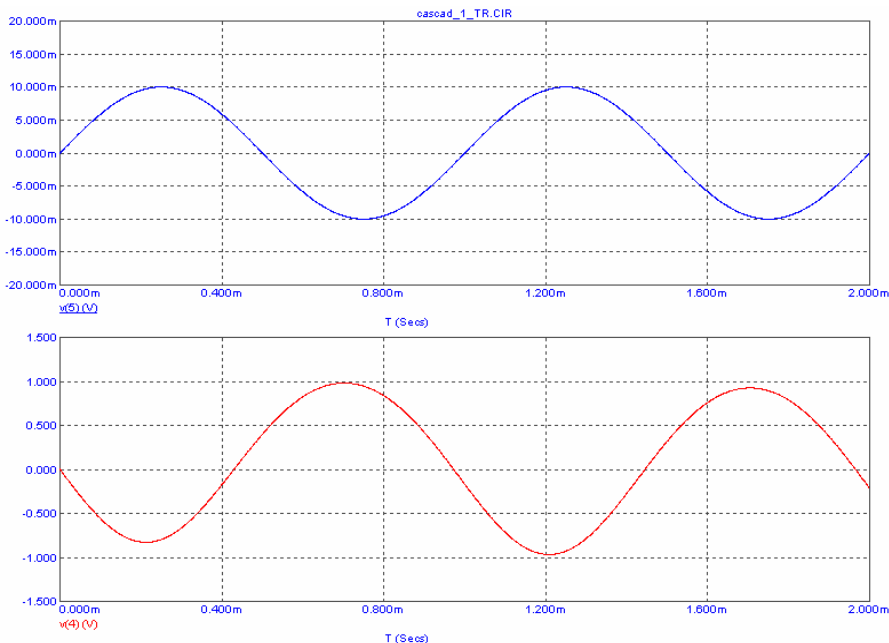


Рис. 3.8. Временные диаграммы входного и выходного напряжения каскада при его работе в линейном режиме

Заменяем гармонический источник сигнала на импульсный. Форма импульсов – прямоугольная, амплитуда – 10 мВ. Осталось решить вопрос о длительности входных импульсов. Как уже отмечалось в разделе 3.2, различают переходные искажения в области малых и больших времен (см. рис. 3.4). Как правило, $t_y \ll t_{\text{и}}$ и на одной временной диаграмме трудно качественно оценить и время установления t_y и спад плоской вершины импульса Δ . Поэтому для их оценки строят две временные диаграммы: в области малых и больших времен с разным масштабом по оси времени.

Область малых времен

Область малых времен связана с поведением схемы в области верхних частот (3.1). Анализ частотных свойств исследуемого каскада позволил получить значение верхней частоты среза, равное 3,3 МГц. Из (3.1) следует, что

$$t_y = \frac{0,35}{3,3} = 0,106 \text{ мкс.}$$

Значит, длительность входных импульсов должна быть больше 0,106 мкс, чтобы за время действия импульса напряжение на выходе успело нарасти до установившегося значения. Возьмем длительность импульса 0,5 мкс, период следования 1 мкс. Установим в строке **Диапазон времени** 0,5 мкс и в окне **X Range** максимальное значение также 0,5 мкс. Получим временные диаграммы (рис. 3.9), по которым достаточно точно можно определить время установления.

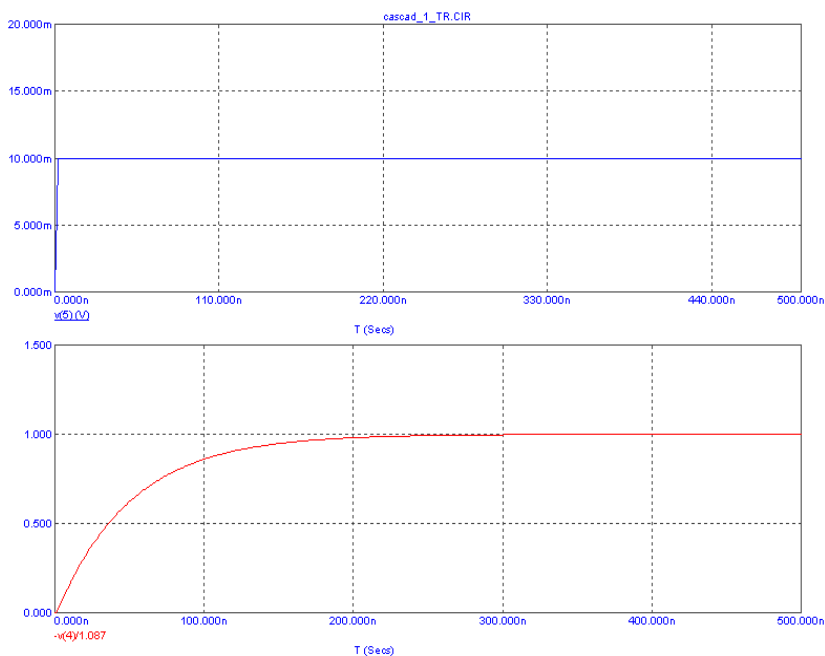


Рис. 3.9. Временные диаграммы входного и выходного напряжения каскада при оценке переходных искажений в области малых времен



На рис. 3.9 по оси ординат отложено нормированное выходное напряжение. В установившемся режиме амплитуда выходного импульса равна 1,087 В. Так как исследуемый каскад инвертирует входной сигнал, то для получения на временной диаграмме положительного выходного импульса перед отношением $V(4)/1.087$ поставлен минус

Область больших времен

Область больших времен связана с поведением схемы в области нижних частот (3.1). Нижняя частота среза исследуемого каскада равна 200 Гц. Зададимся величиной спада 20 %. Тогда из (3.1) получим

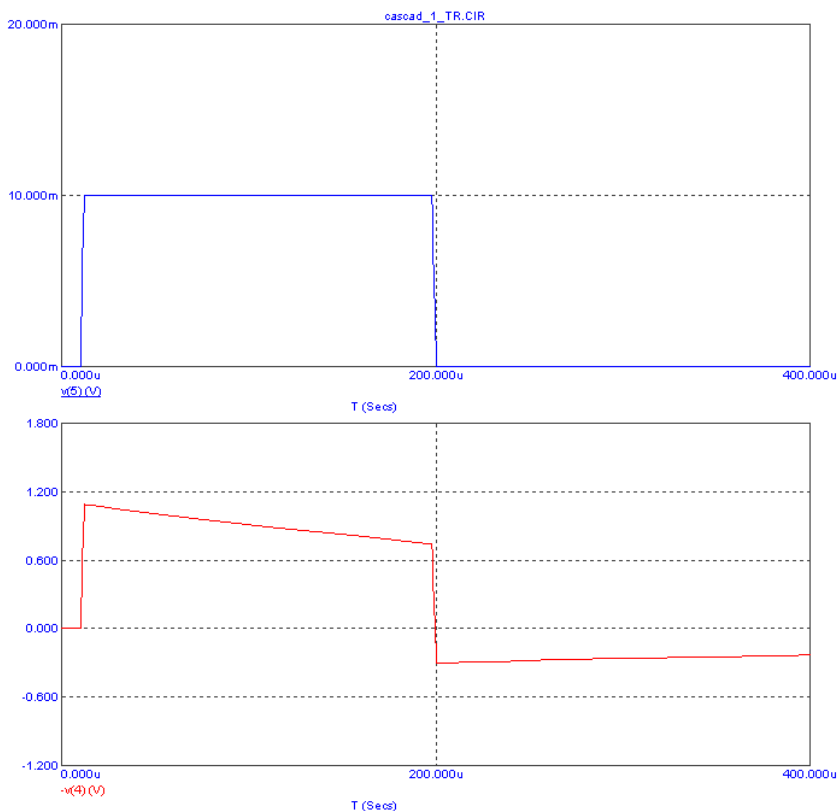


Рис. 3.10. Временные диаграммы входного и выходного напряжения каскада при оценке переходных искажений в области больших времён

$$t_{\text{и}} = \frac{\Delta}{2\pi f_{\text{нс}}} = \frac{0,2}{2 \cdot 6,28 \cdot 200} \approx 160 \text{ мкс.}$$

Возьмем длительность импульса 200 мкс, период – 1 мс. Установим в строке **Диапазон времени** 400 мкс и в окне **X Range** максимальное значение также 400 мкс. Получим временные диаграммы (рис 3.10), по которым достаточно точно можно определить спад плоской вершины импульса Δ .

3.5. ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Лабораторная работа должна содержать:

- титульный лист;
- задание;
- распечатки чертежей исследуемых схем;
- распечатки полученных в результате анализа графических зависимостей с комментариями (объяснениями);
- результаты определения всех параметров, требуемых в задании (частот среза, полосы пропускания, времени установления и т. д.);

Требования к оформлению и защите лабораторных работ по данной дисциплине приведены в лабораторной работе № 1.

3.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое переходной процесс в электрической схеме?
2. Какое воздействие на схему может привести к возникновению переходного процесса?
3. Какими уравнениями можно описать поведение схемы в режиме АС?
4. Зачем необходимо изучение переходного процесса?
5. Какие характеристики могут быть получены в режиме АС?
6. Охарактеризуйте смысл применения опции Stepping и режима температурной зависимости.
7. В чем смысл применения опции Probe? В чем ее ограниченность?
8. Как ввести информацию о температурной зависимости компонентов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННОЙ СХЕМЫ ПО МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО

4.1. ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

Статистический анализ – это многократный анализ, при этом для каждого однократного анализа все компоненты приобретают случайные отклонения от номиналов в соответствии с известным законом распределения. Статистический анализ, в сущности, моделирует процесс серийного изготовления схем, учитывая при этом технологический разброс атрибутов компонентов.


Статистический анализ проводится для того, чтобы задолго до начала серийного производства определить, насколько приемлема конкретная схема с известным разбросом и законом распределения атрибутов компонентов.

Статистический анализ применим к любому из рассмотренных выше основных режимов анализа: передаточные характеристики по постоянному току (DC), частотные характеристики (AC) и переходные характеристики (Transient). Наиболее наглядным и важным представляется использование статистического анализа применительно к режиму AC. Именно на примере этого режима будет идти последующее изложение.

Работу, как обычно, следует начать с ввода схемы с указанием величины разброса для каждого атрибута компонентов, т. е. необходимо для каждого компонента дополнительно ввести величину разброса атрибута (обычно выражается в процентах) и для всей совокупности компонентов ввести закон распределения, ограниченный в среде MC8 равномерным и нормальным.

Для ввода величины разброса используется директива .MODEL. Для сложных компонентов и, возможно, для части простых такая ди-

ректива уже существует. Остается лишь ввести в нее дополнительные сведения. Если же для каких-то компонентов директива .MODEL от-

сутствует, то необходимо щелкнуть курсором по кнопке  и затем щелкнуть курсором с сопровождающей его буквой I по конкретному компоненту. В открывшемся окне атрибутов в строке .MODEL вводится имя модели, а в окне текста появляется «заготовка» директивы .MODEL . Для ввода сведений о величине разброса атрибута компонента используются ключевые слова DEV и LOT . Им соответствуют разные датчики случайных чисел. LOT служит для задания разброса компонентов, обладающих коррелированными значениями нескольких атрибутов. DEV служит для задания разброса независимых атрибутов. Запись разброса вводится внутри круглых скобок в директиве .MODEL сразу же после записи значения атрибута компонента. Например, запись вида

.MODEL RVN RES (R =1 R17 = 100 DEV =10 %)

означает, что резистор R17 имеет модель по имени RVN, масштабный коэффициент $R = 1$, сопротивление 100 Ом, разброс сопротивления 10 %.

Закон распределения устанавливается одинаковым для всех компонентов (см. ниже).

После ввода схемы и величины разброса атрибутов следует перейти к анализу схемы. Как было сказано выше, в качестве примера рассмотрим статистический анализ для режима АС. Командой **Analysis / Частотные характеристики** устанавливается режим АС анализа и открывается окно AC Analysis Limits. В этом окне, как указано выше в описании лабораторной работы № 3, делаются необходимые установки и проводится обычный однократный анализ с тем, чтобы убедиться в правильности выполняемых действий. Теперь можно перейти собственно к статистическому анализу. Для выполнения начальных установок статистического анализа необходимо применить команду **Monte Carlo / опции**. При этом открывается окно **Monte Carlo опции**. В окне следует установить:

Статус: Вкл. (для выхода из режима Monte Carlo – Выкл.).

Число выполнений: целое число – количество испытаний. Для пробных попыток можно порекомендовать 10...20 испытаний, для окончательных расчетов 1000...2000.

Испол. дистрибутив: выбор закона распределения сразу для всех компонент; Гаусс – нормальный; Униф – линейный; Плохой регистр – худший случай.

Для задания вида гистограммы требуется нажать кнопку GET и выбрать функцию задающую вид гистограммы.

После установок выполняется запуск счета – **команда АС / Запуск (F2)**. При этом на экран выводится вместо отдельных кривых семейства кривых, в каждом семействе количество отдельных кривых равно заданному количеству испытаний. Полученные графики несут полезную информацию, и их можно использовать для принятия решения о приемлемости данной схемы с заданными разбросами параметров.

Более детальная информация может быть получена после дополнительной обработки уже полученной информации посредством построения и анализа гистограмм. Гистограмма – это диаграмма; по оси абсцисс откладывается выходной параметр схемы; интервал, на котором размещаются все реализации параметра, делится на N участков, каждый из которых является основанием прямоугольника; по оси ординат откладывается абсолютное или относительное количество попаданий очередных реализаций выходного параметра на данный участок оси абсцисс. Иными словами, гистограмма – это дискретный огрубленный закон распределения выходного параметра.

Для построения гистограммы следует определить, для какого параметра какой именно зависимости надо построить гистограмму. Например, это может быть точка, соответствующая максимуму частотной характеристики модуля коэффициента передачи в заданных пределах по частоте. Естественно, при разбросе параметров для каждой реализации это будут разные точки и по частоте и по значению модуля коэффициента передачи. Эти данные проставляются в окне **Monte Carlo** (применяется команда **Monte Carlo / Гистограммы / Добавить гистограмму**).

После нажатия ОК окно Свойства исчезает и появляется экран с гистограммой. В правой части экрана представлен столбец конкретных реализаций выбранного выходного параметра. Количество реализаций определено числом испытаний. В нижней части непосредственно под окном гистограммы запись Percent displayed 78 означает, что гистограмма построена не для всего диапазона изменения параметра по оси X , а только для 78 процентов. Полный диапазон изменения оговорен в строках Низкий и Высокий в левом столбце под окном, ограниченный диапазон – в строках Низкий и Высокий в правом столбце. Кроме того, в этих столбцах приведено математическое ожидание Mean и среднеквадратичное отклонение Sigma, а также количество интервалов гистограммы. Monte Carlo / Histograms /

4.2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Введите схему для АС анализа.
2. В описании компонентов введите величину разброса атрибутов.
3. Проведите АС анализ введенной схемы и убедитесь в нормальной работе режима АС. Перед этим организуйте вывод на экран 2-3 наиболее показательных зависимостей.
4. Сделайте необходимые установки в окне **Monte Carlo** опции, указав, в частности, количество испытаний.
5. Вновь проведите АС анализ. Обратите внимание на характер кривых для всех доступных законов распределения. Сформулируйте выводы.
6. Реализуйте режим построения гистограмм. Используйте функции гистограмм High.
7. Повторите п. 6 для меньшего диапазона по оси X ; для функции гистограммы Low; для другой зависимости; для других значений числа разбиений гистограммы.
8. По желанию можно попробовать использовать другие функции гистограммы, используя Help.
9. В чем, на ваш взгляд, достоинства и недостатки МС8 при реализации режима статистического анализа?
10. Защитите работу, продемонстрировав умение работать в режиме статистического анализа и отвечать на контрольные вопросы.

4.3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое статистический анализ?
2. Как подготовить описание различных компонентов к статистическому анализу?
3. Как установить закон распределения и число испытаний?
4. Какую информацию можно получить в результате статистического анализа?
5. Какие законы распределения реализуются в среде МС8 и почему?
6. Что такое худший случай?
7. Что такое гистограмма? Для каких параметров она реализуется?
8. Как используется информация, полученная в результате статистического анализа?
9. Какие достоинства и недостатки вы усматриваете в реализации статистического анализа в среде МС8?

Оглавление

Лабораторная работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ВВОДА ИНФОРМАЦИИ О СХЕМЕ.....	3
1.1. Работа в среде МС8	3
1.1.1. Общие сведения о системе МС8.....	3
1.1.2. Подготовительные операции	3
1.1.3. Добавление компонентов в схему	4
1.1.4. Ввод параметров (атрибутов) компонентов	5
1.1.5. Ввод и индикация вспомогательных обозначений и текстов.....	5
1.1.6. Редактирование введенной схемы.....	6
1.2. Задание	6
1.3. Варианты заданий.....	7
1.4. Порядок выполнения работы.....	18
1.5. Форма отчетности.....	18
1.6. Контрольные вопросы.....	19
Лабораторная работа № 2. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ В СТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ.....	21
2.1. Методические указания	21
2.1.1. Статические характеристики биполярного транзистора.....	21
2.1.2. Расчет семейства выходных статических характеристик	22
2.1.3. Расчет семейства входных статических характеристик	26
2.1.4. Расчет нагрузочных прямых постоянного и переменного тока	27
2.1.5. Построение нагрузочных прямых	29
2.2. Порядок выполнения работы.....	31

2.3. Форма отчетности.....	32
2.4. Контрольные вопросы.....	32
Лабораторная работа № 3. АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ И ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАССИВНЫХ И АКТИВНЫХ СХЕМ	33
3.1. Краткие теоретические сведения	33
3.2. Задание	38
3.3. Порядок выполнения работы.....	39
3.4. Пример анализа переходных характеристик усилительного каскада	42
3.5. Форма отчетности.....	46
3.6. Контрольные вопросы.....	46
Лабораторная работа № 4. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННОЙ СХЕМЫ ПО МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО	47
4.1. Пояснения к работе	47
4.2. Порядок выполнения работы.....	50
4.3. Контрольные вопросы.....	50