

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»**

—
Кафедра радиотехнических устройств
Ю.П.Сафоненков

СХЕМОТЕХНИКА, часть 1

ПОСОБИЕ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

для студентов всех форм обучения специальности
160905

Москва - 2010

Рецензент канд. техн. наук, доцент Д.Н. Яманов.

Сафоненков Ю.П.

Схемотехника, часть 1. Пособие к проведению практических занятий. М.: МГТУ ГА, 2010, 24 с.

Настоящее пособие издается в соответствии с учебной программой для студентов 3 курса дневного и заочного обучения специальности 160905.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры РТУ 26.01.2010 г. и редакционно-издательского Совета ФАСК 02.02.2010 г.

Редактор

ЛР №	от	Подписано в печать	14.04 .2010 г.
Печать офсетная		1,5 уч.- изд. л.	1,39 усл. печ. л.
Заказ №		Тираж 200 экз.	

Московский государственный технический университет ГА
 Редакционно-издательский отдел
 125493, Москва, ул. Пулковская, д.6а

© Московский государственный
 технический университет ГА, 2010

1. ЦЕЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практические занятия по дисциплине "Схемотехника, ч. 1" проводятся после предварительной домашней проработки материалов курса, предусмотренных программой.

Целью практических занятий является закрепление и углубление знаний по изучаемой дисциплине и применение их для решения инженерных задач, в частности в курсовом проектировании.

В процессе выполнения заданий приобретаются навыки работы с литературой, принятия инженерных решений, анализа, выбора, расчета схем (в том числе и с применением ЭВМ), составления технической документации.

2. ПОРЯДОК ПРОХОЖДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

2.1. Подготовка к занятиям

В процессе домашней подготовки необходимо изучить задания, материалы курса по теме занятий, продумать методику расчетов (или порядок работы на ПЭВМ), заготовить форму для графиков и таблиц, а при работе на ПЭВМ все необходимые материалы. На занятия следует принести пособия по проектированию и другую методическую литературу, справочники.

Для продуктивного использования машинного времени дома надо подробно ознакомиться с методикой работы в используемой программной среде, подготовить эскизы вводимых в ПЭВМ схем, продумать и рассчитать хотя бы ориентировочные значения номиналов элементов, выбрать их типы, пределы и виды анализируемых параметров, формы входных сигналов.

2.2. Работа в аудитории

Во время аудиторных занятий преподаватель кратко формулирует задание, методику его выполнения, поясняет типовые ошибки, а затем каждый студент самостоятельно проводит все необходимые расчеты, консультируясь с преподавателем по возникающим проблемам. Перед окончанием занятий обсуждаются полученные результаты.

2.3. Работа в классе ПЭВМ

По заготовленным дома исходным материалам произвести расчет схем или ввод программы расчета и ее отладку. Методические указания по использованию прикладных программ в учебном процессе имеются в [3]. Полученные данные обсудить с преподавателем и сохранить в файле.

По окончании работы на ПЭВМ студент должен предъявить графический и текстовый материал преподавателю.

После завершения всех работ студент должен выключить ПЭВМ и сдать рабочее место дежурному лаборанту, а при отсутствии его – преподавателю.

3. СОДЕРЖАНИЕ И ТЕМЫ ЗАДАНИЙ

Для проведения практических занятий по программе дневного обучения отведено 8 часов. Два двухчасовых занятия проводятся в аудитории, а одно четырехчасовое занятие – в классе ПЭВМ.

Тематика занятий:

- введение, предварительный расчет усилителя – 2 часа;
- практическое изучение математической программы MathCad и электронной книги по расчету аналого-дискретных устройств – 4 часа.
- решение задач по определению параметров аналого-дискретных устройств – 2 часа;

Задания по расчету функциональных устройств или их каскадов, как правило, согласуются с вариантами тем на выполнение курсовой работы. Часть заданий может иметь исследовательский характер.

Задачи, выносимые на практические занятия, выдаются каждому студенту индивидуально, их содержание определяется преподавателем.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЙ

4.1. Предварительный расчет

Целью предварительного расчета является ориентировочное определение состава схемы и ожидаемых ее характеристик, а также выработка требований и исходных данных к электрическому расчету отдельных каскадов.

Прежде всего, решают вопрос о схеме оконечного каскада, зависящей от выходной мощности, частотного диапазона, характера нагрузки, уровня частотных и нелинейных искажений, и схеме первого каскада, определяемой данными источника сигналов.

Выходные каскады усилителей непрерывных сигналов и импульсных двухполярных усилителей мощностью свыше (1...2) Вт, как правило, выполняют по двухтактной схеме, работающей в классе В или АВ.

Если диапазон усиливаемых частот не очень широк (отношение верхней f_v и нижней f_n граничных частот не выше 800), то возможно построение выходного каскада по трансформаторной схеме, имеющей максимальное усиление на каскад.

При отсутствии особых соображений в выходных (а также и в промежуточных каскадах) предпочтительно использовать биполярные транзисторы, имеющие по сравнению с полевыми большую крутизну, а, следовательно, и лучшее усиление.

На способ включения усилительного элемента большое влияние оказывает величина и характер нагрузки.

При малых сопротивлениях нагрузки (ориентировочно менее (100...200) Ом) потери на внутреннем сопротивлении каскада растут, что приводит к необходимости выбора таких схем, которые обладают низким выходным сопротивлением. Среди них наибольшее распространение получили каскады, где одиночный транзистор или транзистор в схеме Дарлингтона включен с общим коллектором, схемы с обратной связью по напряжению, трансформаторные каскады.

Следует также учитывать, что наибольшими нелинейными искажениями обладает схема с общим эмиттером (в два - три раза выше, чем у схемы с общей базой и общим коллектором). Ориентировочное значение для этого включения можно принять на уровне (6...8)%.

Величина нелинейных искажений существенно зависит от хода вольтамперных характеристик транзисторов и будет наименьшей, если точки пересечения выходных характеристик (если они изображены с одинаковым шагом по I_b или $U_{зи}$) с нагрузочной прямой переменного тока располагаются на примерно одинаковых расстояниях.

Если выбранный способ включения усилительного элемента обеспечивает коэффициент гармоник $K_{Г'}$ и он будет больше заданного, то в усилитель вводится обратная связь с глубиной

$$K_{ос} = K_{Г'} / K_{Г}; \quad K_{ос \text{ дБ}} = 20 \cdot \lg(K_{ос}).$$

Кроме нелинейных искажений каждый каскад вносит линейные искажения, связанные с неравномерностью амплитудно-частотных характеристик за счет действия реактивных элементов в схеме. Эти искажения могут быть до некоторой степени скомпенсированы введением корректирующих цепей, а на высоких частотах – еще и выбором малых сопротивлений нагрузки. Именно по этой причине усиление каскадов импульсных и широкополосных усилителей примерно на (3...10) дБ меньше, чем у низкочастотных.

Необходимость введения в усилитель схем высокочастотной коррекции оценивают коэффициентом коррекции ([5] с.117)

$$K_{к} = 0.7 \cdot f_{Т} / (h_{21э} \cdot f_{в}) \quad \text{или} \quad K_{к} = 2 \cdot f_{Т} \cdot t_{у} / h_{21э},$$

где $f_{Т}$ - критическая (или граничная) частота транзистора, предполагаемого к использованию в каскаде,

$f_{в}$ - верхняя рабочая частота,

$t_{у}$ - время установления импульса, отведенное на каскад,

$h_{21э}$ - коэффициент усиления тока для транзистора с общим эмиттером.

Критическую частоту находят по справочным данным коэффициента усиления по току биполярного транзистора $|B|_f$ на высокой частоте f

$$f_{Т} = |B|_f \cdot f.$$

Она должна удовлетворять условию [4] с.70

$$f_{Т} = (20...50) f_{в}; \quad f_{Т} = (2...5) / t_{у}.$$

В схемах широкополосных и импульсных усилителей с полевыми транзисторами применение индуктивной частотной коррекции желательно т. к. позволяет увеличить усиление каскада, которое в связи с малым значением крутизны транзистора невелико. Этому также способствует выбор следующего каскада с повышенным входным сопротивлением.

Если коэффициент коррекции оказался меньше единицы, то в каскаде необходимо применить схему высокочастотной коррекции. При $K_k \geq 1$ ее применение не обязательно, но может дать выигрыш в усилении.

Схемы низкочастотной коррекции применяют реже и только в тех случаях, когда величины конденсаторов в цепях межкаскадной связи и термостабилизации оказываются чрезмерно большими.

Транзистор в схеме должен выбираться не только по частотным свойствам. Нужно, чтобы максимальные значения токов, напряжений, импульсной и средней мощности, действующие в схеме, не превышали допустимых для него значений. Не рекомендуется выбирать ток покоя транзистора менее одного миллиампера, так как при малых токах падает $h_{21э}$ и ухудшается стабильность положения точки покоя (рабочей точки). Нельзя использовать мощные транзисторы в маломощных каскадах из-за малых входных и выходных сопротивлений, больших межэлектродных емкостей и больших неуправляемых токов.

Граница зоны неуправляемых токов может быть найдена из соотношения

$$I_{\text{нуп}} = (0.01 \dots 0.05) \cdot I_{\text{к макс доп}}$$

где $I_{\text{к макс доп}}$ - максимально допустимый ток через транзистор. При работе каскада сигнал не должен заходить в зону неуправляемых токов, так как это приведет к появлению нелинейных искажений.

Выбирая схему включения транзистора первого каскада, необходимо учиты-

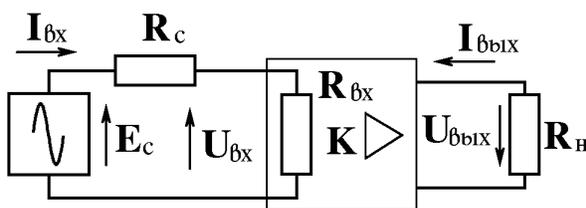


Рис. 1

вать, что во входной цепи происходят потери мощности на внутреннем сопротивлении источника сигнала R_c (рис. 1).

Для уменьшения этих потерь надо строить схему так, чтобы ее входное сопротивление $R_{\text{вх}}$ было не менее внутреннего сопротивления источников сигналов

R_c . При этом коэффициент передачи входной цепи будет равен:

$$\alpha = R_{\text{вх}} / (R_{\text{вх}} + R_c); \quad \alpha_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg(\alpha).$$

Таким образом, если $R_c > (3 \dots 5)$ кОм, то в качестве первого каскада используют схемы, обладающие повышенным входным сопротивлением:

- 1) эмиттерный повторитель,
- 2) схему с полевым транзистором, включенным с общим истоком или стоком,
- 3) схему Дарлингтона,

4) схему с общим эмиттером и последовательной по току отрицательной обратной связью.

Ориентировочно в предварительных расчетах входной цепи принимают для схем с общим эмиттером $R_{вх} = (300...500)$ Ом, а для схем с общим коллектором $R_{вх} = (5...10)$ кОм.

Если принято решение о видах каскадов в схеме, то затем решают вопрос о количестве промежуточных каскадов, которые обычно полагают однотипными. Нужно определить усиление, приходящееся на эти каскады. Для этого вычисляют общее усиление устройства путем деления выходного напряжения $U_{вых}$ на входное $U_{вх}$

$$K_{общ} = U_{вых} / U_{вх} ; \quad K_{общ \text{ дБ}} = 20 \cdot \lg (K_{общ}).$$

Затем находят ориентировочное усиление первого K_1 дБ, окончного $K_{ок}$ дБ и промежуточных каскадов $K_{пр}$ дБ по табл. 1.

Таблица 1

Тип каскада	Включение транзистора	Усиление по напряжению (в дБ)
Оконечный резисторный	ОЭ	15 ... 25
	ОИ	10...15
	ОК	-2...-3
	ОС	-0.5...-1
Оконечный трансформаторный	ОЭ	25...35
	ОИ	15...25
	ОК	-1...-2
	ОС	0...-1
	ОБ	12...15
Предварительный резисторный	ОЭ	20...30
	ОИ	15...20
	ОК	-2...-3
	ОС	-0.5...-1
Фазоинверсный с разделенной нагрузкой	-	-3...-5
Предварительный трансформаторный	ОЭ	30...40
	ОИ	20...30
Входная цепь в режиме согласования сопротивлений	-	-3

Число каскадов n предварительного усиления определяют в соответствии с формулой

$$n = \frac{K_{общ \text{ дБ}} - \alpha_{дБ} - K_{ок \text{ дБ}} - K_1 \text{ дБ} + K_{ос \text{ дБ}} - K_{к \text{ вых дБ}} - K_{к 1 \text{ дБ}}}{K_{пр \text{ дБ}} + K_{к пр \text{ дБ}}},$$

где $K_{к 1}$ дБ, $K_{к пр}$ дБ, $K_{к вых}$ дБ - коэффициенты коррекции первого, предварительных и выходного каскадов, если коэффициент коррекции оказался меньше единицы (т. е. в децибелах отрицателен).

Полученное значение n округляют до большего ближайшего целого числа.

Составив принципиальную электрическую схему усилителя, надо затем распределить допущенные на все устройство частотные, переходные и нелинейные искажения. Лучше всего это делать сразу, задавая на отдельные элементы те искажения, которые они могут вносить.

Известно, что низкочастотные искажения (и связанные с ними искажения плоской вершины импульсов) вносят емкости связи, емкости в цепях эмиттерной или истоковой термостабилизации, индуктивности первичных обмоток трансформаторов.

Высокочастотные искажения (искажения фронтов импульсов и выбросы) обусловлены действием внутренних емкостей транзисторов и индуктивностей рассеяния трансформаторов.

Следует иметь в виду, что внутри каскада наибольшее влияние на частотные и переходные искажения оказывает трансформатор и емкость в цепи термостабилизации. Выходные каскады, как правило, вносят большие частотные искажения по сравнению с каскадами предварительного усиления. При этом следует исходить из того, что не менее половины (в децибелах) от частотных искажений вносится последним по схеме каскадом с общим эмиттером (истокom).

Частотные искажения, создаваемые реактивными элементами усилителя и выраженные в децибелах, арифметически складываются. Этим объясняется удобство их использования, так как выраженные в относительных значениях частотные искажения перемножаются.

Поэтому проще всего распределять частотные искажения, если выразить коэффициенты частотных искажений на нижних $M_{н}$ и верхних $M_{в}$ частотах в децибелах

$$M_{н \text{ дБ}} = 20 \cdot \lg M_{н} \quad \text{и} \quad M_{в \text{ дБ}} = 20 \cdot \lg M_{в}.$$

Тогда

$$M_{н \text{ дБ}} = M_{н1 \text{ дБ}} + \dots + M_{ни-1 \text{ дБ}} + M_{ни \text{ дБ}},$$

$$M_{в \text{ дБ}} = M_{в1 \text{ дБ}} + \dots + M_{вj-1 \text{ дБ}} + M_{вj \text{ дБ}},$$

где $M_{н1 \text{ дБ}} \dots M_{ни-1 \text{ дБ}}, M_{ни \text{ дБ}}$ - частотные искажения, отведенные на элементы, вносящие эти искажения на низких частотах,

$M_{в1 \text{ дБ}} \dots M_{вj-1 \text{ дБ}}, M_{вj \text{ дБ}}$ - частотные искажения, отведенные на элементы, вносящие эти искажения на высоких частотах.

Распределив частотные искажения, нужно вновь перейти к линейным значениям

$$M_{ни} = 10^{M_{ни \text{ дБ}} / 20}, \quad M_{вj} = 10^{M_{вj \text{ дБ}} / 20},$$

которые и следует подставлять в расчетные формулы. Полученные результаты удобно записывать в виде таблицы (табл. 2).

Таблица 2

Элемент	НЧ искажения		ВЧ искажения	
	$M_{ни}$	$M_{ни\ дБ}$	$M_{вj}$	$M_{вj\ дБ}$
.....

Аналогично распределяют переходные искажения в соответствии с выражениями

$$\Delta_{общ} = \Delta_1 + \dots + \Delta_{i-1} + \Delta_i,$$

$$t_{y\ общ} = \sqrt{t_{y\ 1}^2 + \dots + t_{y\ j-1}^2 + t_{y\ j}^2},$$

$$\delta_{общ} = \sqrt{\delta_1^2 + \dots + \delta_{j-1}^2 + \delta_j^2},$$

где $\Delta_{общ}$, $t_{y\ общ}$, $\delta_{общ}$ – спад плоской вершины, время установления и выброс усилителя,

Δ_1 , Δ_{i-1} , Δ_i – спады плоской вершины, обусловленные влиянием i -ых элементов,

$t_{y\ 1}$, $t_{y\ j-1}$, $t_{y\ j}$,

δ_1 , δ_{j-1} , δ_j – времена установления и выбросы от влияния j -ых элементов.

Результаты оформляют в виде таблицы (табл.3).

Таблица 3

Элемент	Δ_i	$t_{y\ j}$	δ_j
.....

Так как в импульсном усилителе наибольшие переходные искажения вносит, как правило, оконечный каскад, то на него отводят большую часть из общих искажений. При этом надо учитывать, что если, например, взять время установления оконечного каскада $t_{y\ ок} = 0.8 \cdot t_{y\ общ}$, то, в силу приведенных выше соотношений, на остальные каскады будет приходиться $t_{y\ ост} = 0.6 \cdot t_{y\ общ}$.

Если оконечный каскад выполнен по схеме с общим эмиттером (или общим истоком), то все нелинейные искажения отводят на этот каскад. В тех случаях, когда предоконечный каскад вносит значительные нелинейные искажения (например, если он находится перед эмиттерным повторителем), то приходится распределять нелинейные искажения между оконечным и предоконечным каскадами. При этом общие нелинейные искажения усилителя $K_{Г\ ус}$ вычисляют по формуле:

$$K_{Г\ ус} = \sqrt{K_{Г2ус}^2 + K_{Г3ус}^2 + K_{Г4ус}^2},$$

где $K_{Г\ ус}$, $K_{Г2ус}$, $K_{Г3ус}$, $K_{Г4ус}$ – коэффициенты гармоник всего усилителя и его коэффициенты гармоник по второй, третьей и четвертой гармоникам, определяемые из соотношений:

$$K_{Г2ус} = K_{Г2'} + K_{Г2''}, \quad K_{Г3ус} = K_{Г3'} + K_{Г3''}, \quad K_{Г4ус} = K_{Г4'} + K_{Г4''}.$$

Здесь буквами со штрихами обозначены коэффициенты гармоник по второй, третьей, четвертой гармоникам первого и второго каскадов, вносящих заметные нелинейные искажения.

Предпочтительно так проектировать усилитель, чтобы он имел один источник питания. Напряжение источника питания E зависит от максимального значения выходного сигнала и схемы окончного каскада.

Если в качестве выходного используется трансформаторный каскад, то

$$E = (0.3 \dots 0.4) \cdot U_{\text{макс доп}},$$

где $U_{\text{макс доп}}$ – максимально допустимое напряжение между выходными электродами выбранного транзистора.

В остальных случаях $E < 0.8 \cdot U_{\text{макс доп}}$, причем величину E определяют, учитывая вид усиливаемых сигналов и способ связи с нагрузкой.

Если допустима постоянная составляющая на выходе усилителя (что не всегда желательно), то ([6], с. 144):

$$E = (2.2 \dots 3) \cdot U_{\text{вых м}} \quad \text{– для гармонических сигналов;}$$

$E = (1.1 \dots 1.5) \cdot U_{\text{вых общ}}$ – для двухполярных импульсных сигналов с общей амплитудой $U_{\text{вых общ}}$;

$$E = (1.2 \dots 1.8) \cdot U_{\text{вых м}} \quad \text{– для однополярных импульсных сигналов,}$$

где $U_{\text{вых м}}$ – максимальное значение сигнала на выходе усилителя.

Для гармонических сигналов оно связано со средним значением $U_{\text{вых}}$ известным соотношением

$$U_{\text{вых м}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{вых}}.$$

Величина коэффициента при $U_{\text{вых м}}$ выбирается тем большей, чем больше интервал рабочих температур.

Если постоянная составляющая на выходе недопустима, то

$$E = (4 \dots 8) \cdot U_{\text{вых м}} \quad \text{– для гармонических сигналов;}$$

$$E = (2 \dots 4) \cdot U_{\text{вых м}} \quad \text{– для импульсных сигналов.}$$

В маломощных каскадах напряжение питания не критично, однако его не следует брать менее (1.5 ... 3) В. Кроме того, для увеличения устойчивости в цепи питания этих каскадов надо устанавливать элементы фильтрации питающих напряжений.

Итогом предварительного расчета является составление уточненной схемы с заданием всех исходных данных для покаскадного электрического расчета проектируемого устройства.

4.2. Практическое изучение математической программы MathCad и электронной книги по расчету аналого-дискретных устройств

Работа на данном занятии ведется с использованием материалов, хранящихся на DVD диске, выдаваемом студентам. Курсовую работу можно выпол-

нять в среде Word, но гораздо проще воспользоваться электронной книгой, выполненной в среде MathCad. При этом распечатка работы ведется в два этапа. Сначала в среде Word, вызвав документ Kr_titul.doc, хранящийся на диске в каталоге Docs → Ur, заполняют титульный лист. Из файлов, Form1.doc (1 шт. для электрической схемы), Form2.doc (1 шт. для первого листа пояснительной записки), Form2a.doc (по количеству листов пояснительной записки), распечатывают форматки, которые в дальнейшем используются как пустые листы для вставки текстов из программы MathCad. На листах Per1.doc (1 шт.), Per1a.doc (по количеству листов) составляют перечень элементов разработанного устрой-

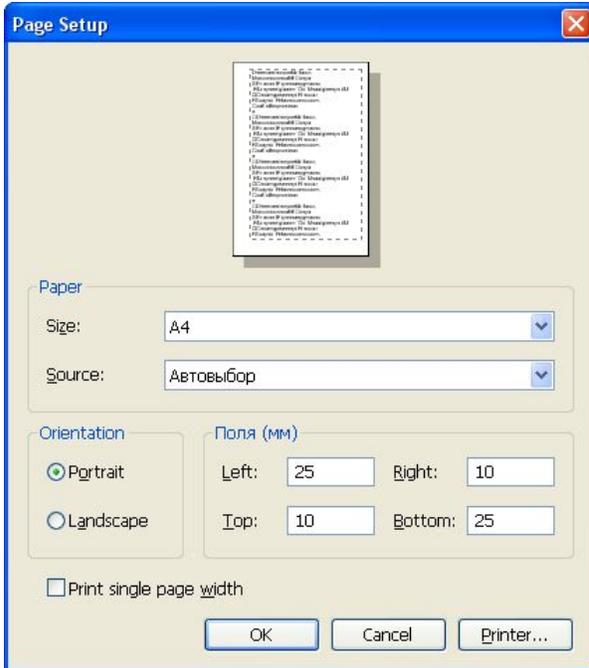


Рис. 2

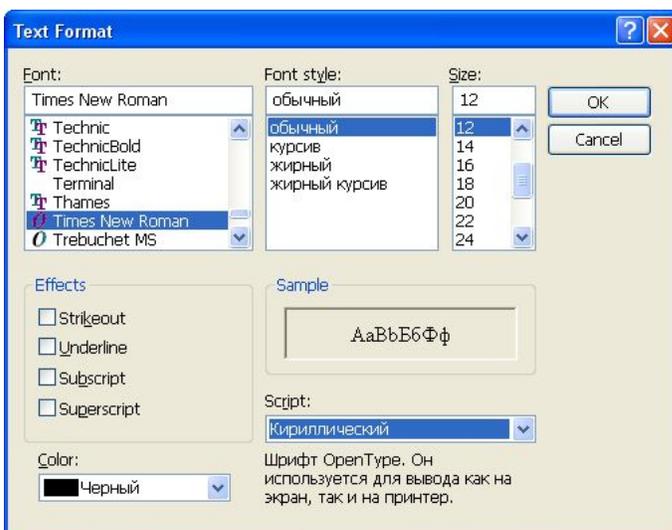


Рис. 3

ства. После установки на компьютер самой программы все файлы, которые имеются на диске в каталоге Handbook, переписываются в аналогичный каталог установленной программы.

После запуска программы сначала устанавливают формат документа и формат текстовых примечаний. Для этого по команде *File* → *Page Setup* входят в окно задания параметров страницы и заполняют его (рис. 2), оставляя по 25-30 мм для подшивки и нижней основной надписи, и по 10 мм для рамки.

Затем по команде *Format* → *Style* заходят в окно *Text Styles*, выбирают стиль *Normal* и по команде *Modify* → *Font* попадают в окно *Text Format* (рис. 3).

Здесь выбирают шрифт Times New Roman 12 размера, кириллического начертания. Нажимая последовательно кнопки *Ok*, *Ok*, *Close*, закрывают окна.

Раскрывая электронную книгу “Проектирование Аналого-дискретных устройств” (рис. 4), через разделы и подразделы “Усилители электрических сигналов”, “Предварительный расчет усилительного устройства”, “Примеры предварительных расчетов уси-

лителей” находят в ней пример расчета усилителя тех сигналов, который записан в задании. Этот пример будет использован как заготовка для выполнения предварительного расчета устройства.

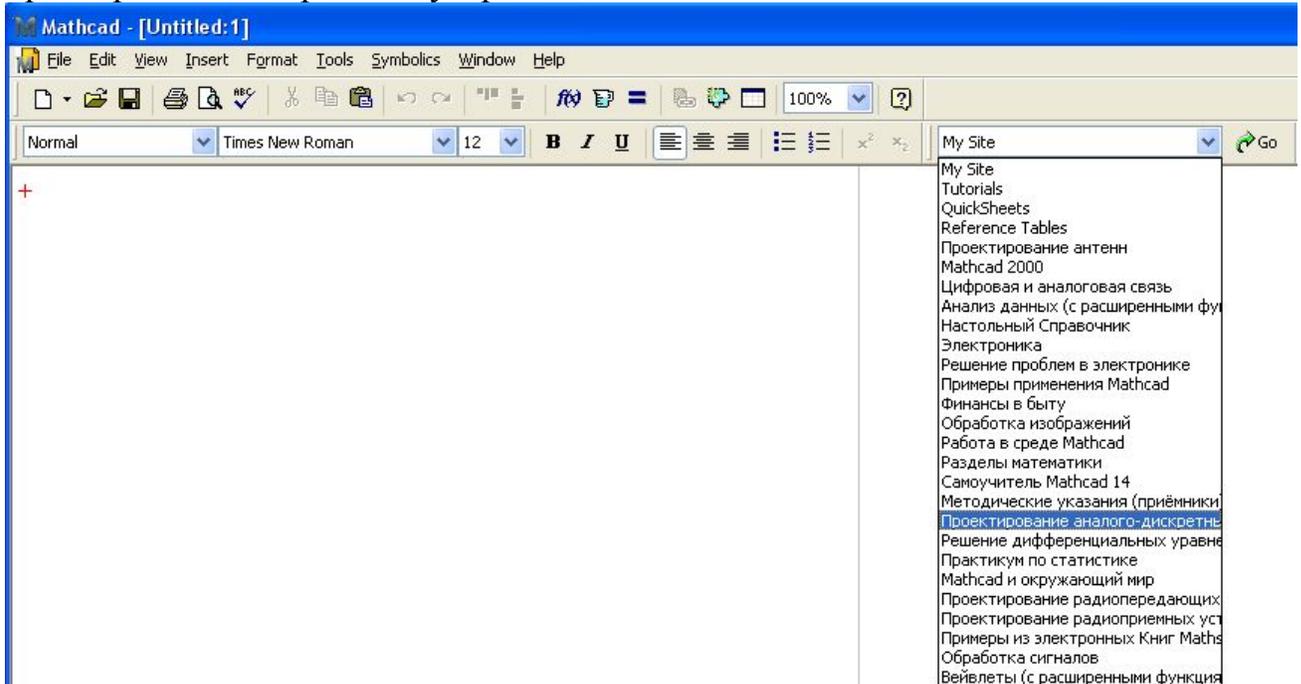


Рис. 4

Используя команду *Edit* → *Select All*, выделяют весь текст примера. Установив указатель курсора на любой выделенный блок, нажимая левую клавишу “мыши”, сдвигают весь текст примера на пустую станицу будущего документа. Следует учесть, что в формате листа уже предусмотрены все отступы. Поэтому фрагмент размещают у края листа. Удаляют верхние элементы навигации электронной книги. Поставив курсор на любую переменную и затем число, надо изменить шрифты на 12 номер у переменных и чисел.

Не надо просто воспроизводить примеры, подставив только свои исходные данные. Примеры в электронной книге составлены таким образом, что не могут без дополнительных действий быть использованы в работе. Это учтено в заданиях на КР. Студенту необходимо осуществить правильный выбор структуры проектируемого устройства, того или иного усилительного элемента, схемы его включения, режима работы, аппроксимацию его вольтамперных характеристик, согласовать соседние каскады, получить линейные и нелинейные искажения, не превышающие заданные величины, правильно решить нелинейные уравнения, сопутствующие методикам расчета и т.п.

Все это позволяет более глубоко разобраться в особенностях работы проектируемого устройства, существенно сократить время на выполнение курсовой работы и творчески использовать возможности проектирования радиотехнических систем на новом, современном уровне.

Работая с примерами необходимо иметь в виду, что структура разрабатываемого устройства не зависит от вида сигналов. Поэтому, анализируя цифры за-

дания и сравнивая их с примерами, необходимо уяснить логику выбора структуры усилителя. Особое внимание следует обратить на параметры нагрузки и источника сигналов. Именно они определяют тип входного и выходного каскадов устройства. Для выходных каскадов еще имеет значение выходная мощность, частотный диапазон усилителя, его искажения. Все это, так или иначе, обосновывается в примерах. Если цифры задания по каким-то параметрам не совпадают с примером, следует посмотреть в соседних примерах, как осуществляется выбор структуры устройства по приближенным к заданному варианту данным.

Рисование электрической схемы усилителя проще всего осуществить в программе Micro-Cap (при этом в соответствии с рекомендациями файла rtkcdrom.doc диска необходимо осуществить коррекцию программы в части воспроизведения условных графических изображений элементов по ЕСКД и установку библиотек отечественных элементов). Порядок работы с программой описан в [3,4].

После определения структуры усилителя, распределения исходных цифр по каскадам надо приступать к электрическому расчету каскадов. Методики расчетов различных каскадов имеются в разделах электронной книги:

- **Электрический расчет низкочастотных и широкополосных усилителей;**
- **Электрический расчет каскадов усилителей импульсных сигналов;**
- **Справочные данные по расчетам → Расчет параметров усилителей на микросхемах.**

Так как параметры нагрузки даны только для выходного каскада, проектирование усилителя начинают с выходного каскада. Он работает в режиме больших сигналов, и расчет следует вести с использованием вольтамперных характеристик усилительных приборов (в случае использования на выходе каскада с общим коллектором предвыходной каскад работает также в режиме больших сигналов, так как каскад с общим коллектором не усиливает по напряжению). Транзисторы выбирают по четырем параметрам: допустимой мощности, току, напряжению и частотным свойствам (критической частоте). Для ряда транзисторов характеристики и другие данные имеются в разных примерах. При необходимости использования других элементов их данные можно найти в справочниках и программах (например, Micro-Cap). В разделе **Справочные данные по расчетам** более подробно отражены операции по вводу в компьютер вольтамперных характеристик транзисторов.

Так как примеры расчетов автономны, то исходные данные даются со ссылкой на предварительный расчет. Ранее он был выполнен, поэтому исходные данные по расчету того или иного каскада формируются из цифр задания и распределенных на каскады общих данных. Не нужно забывать использовать полученные в предварительном расчете цифры!

Графики в работе должны занимать всю плоскость чертежа, так, чтобы по ним можно было определить любую величину, примерно так, как показано на рис. 5.

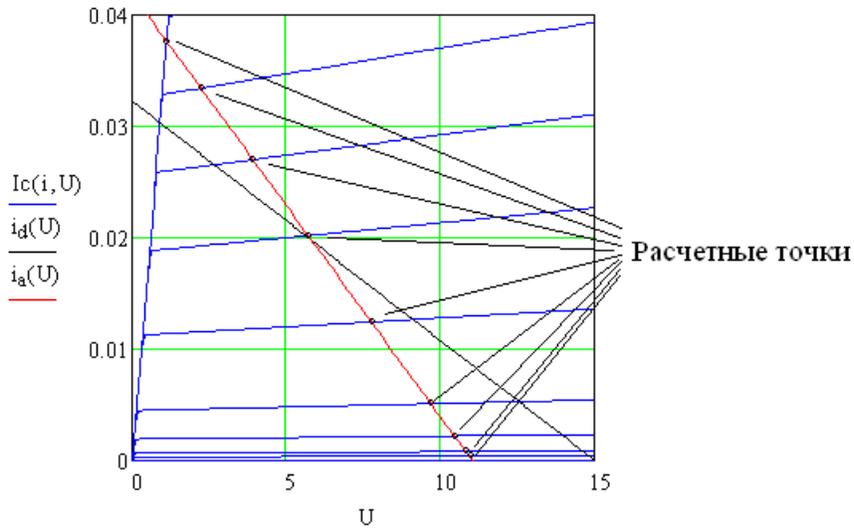


Рис. 5

Недопустимо, чтобы график располагался так, как показано на рис. 6-8.

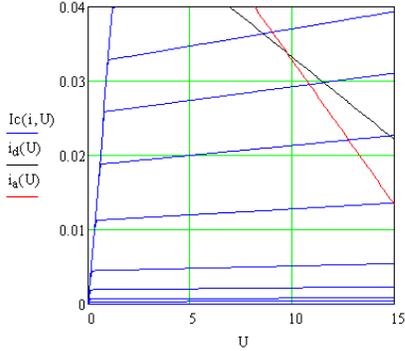


Рис. 6

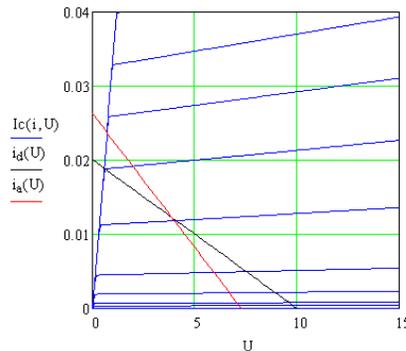


Рис. 7

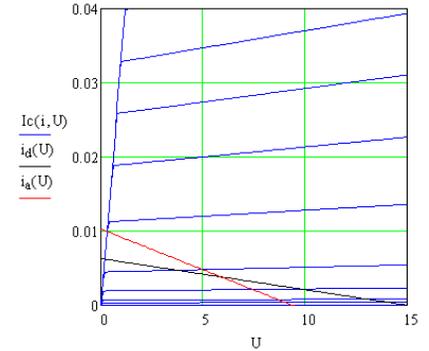


Рис. 8

$i_b :=$

0
0.00001
0.00002
0.00005
0.0001
0.0002
0.0003
0.0004
0.0005
0.0006
0.0007

Рис. 9

Координатная сетка должна иметь такие деления, которые позволят легко отсчитать координаты любой точки. Количество расчетных точек, по которым производятся вычисления, не должно быть менее 8 – 10. Нагрузочная прямая переменного тока должна вся покрываться ветвями вольтамперной характеристики транзистора. Для этого корректируют значения базовых токов транзистора (рис. 9).

Вычисление ряда значений производится с использованием решения нелинейных уравнений. При этом важно установить начальное значение, возле которого машина начнет искать решение. Для этого надо посмотреть на график, описывающий поведение той или иной величины и указать примерное ее положение (рис. 10).

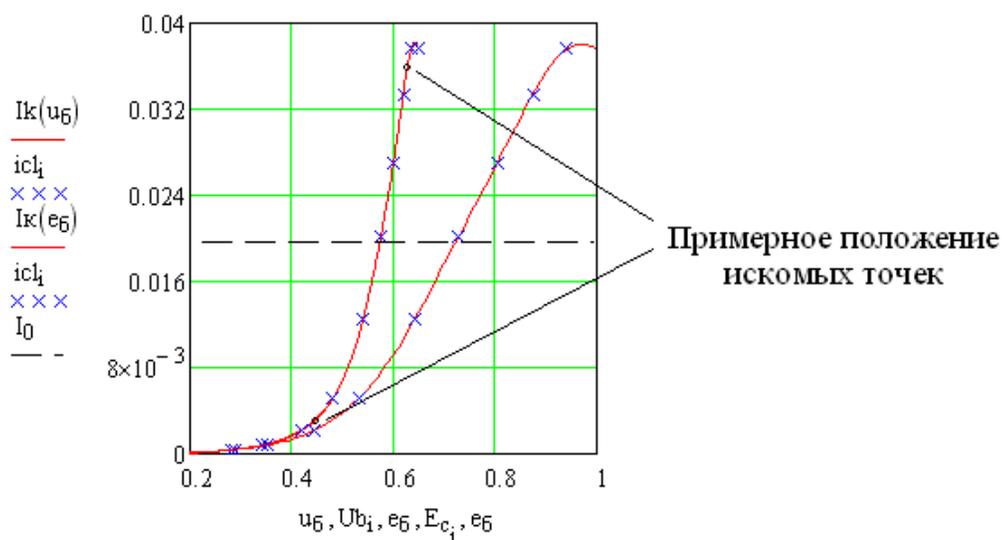


Рис. 10

Если рабочая точка выбрана неправильно, то появляются искажения сигнала или уменьшается амплитуда выходного напряжения. Поэтому нужно тщательно подходить к этому выбору.

Важно знать, от чего зависят нелинейные искажения усилителя. Конечно, в первую очередь они определяются нелинейностью вольтамперных характеристик транзистора, а именно, снижением усиления при возрастании тока. Поэтому надо искать транзисторы, у которых это явление сказывается меньше. Второй фактор – неправильный выбор рабочей точки при малых запасах по напряжению питания каскада. Третий фактор – довольно большое выходное сопротивление предыдущего каскада. Нелинейные искажения могут возрасти при большой разнице между сопротивлением каскада по постоянному и переменному току. В этом случае нагрузочная линия переменного тока займет более вертикальное положение (рис. 11), что уменьшит амплитуду одной из полуволн. Важно помнить, что нелинейные искажения появляются только при больших выходных сигналах.

При невозможности уменьшить нелинейные искажения, используют отрицательную обратную связь. Расчет элементов обратной связи дан в разделе **Справочные данные по Расчетам → Обратная связь в транзисторных усилителях.**

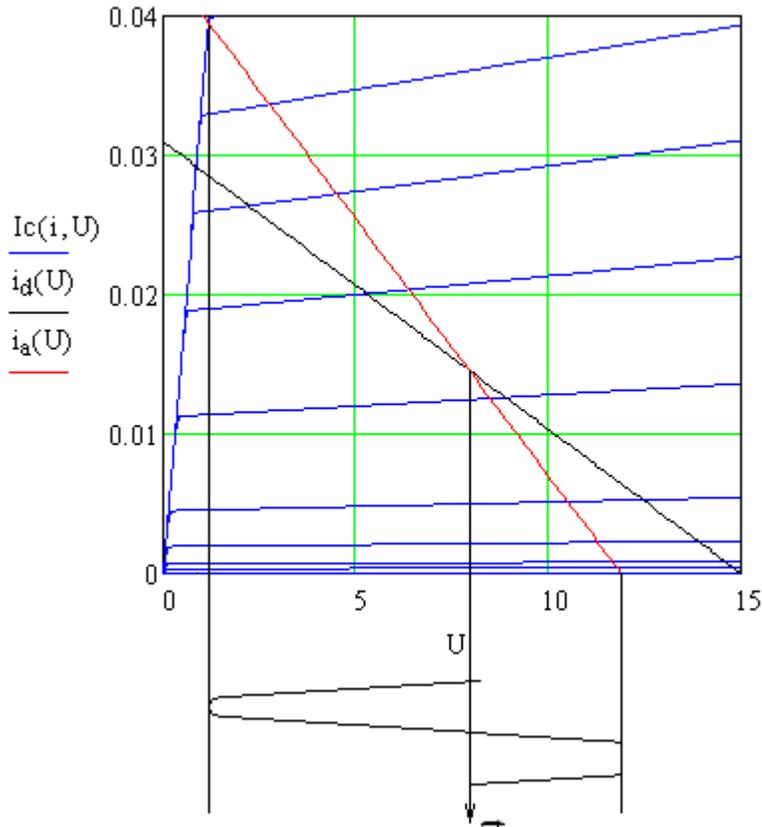


Рис. 11

Сигнал передается от одного каскада к другому. Следовательно, предыдущий каскад является источником сигналов для последующего и, наоборот, предыдущий каскад работает на нагрузку, состоящую из входного сопротивления и входной емкости последующего каскада. Поэтому расчет предыдущего каскада базируется на полученных к моменту расчета данных последующего каскада, а первоначально установленное ориентировочное значение сопротивления источника сигналов последующего каскада нуждается в уточнении после расчета выходного сопротивления (т.е. сопротивления нагрузки) предыдущего каскада.

Расчет малосигнальных усилителей ведется без привлечения вольтамперных характеристик по среднестатистическим справочным параметрам транзисторов. Эти расчеты затруднений не вызывают, если придерживаться рекомендаций, указанных в соответствующих методиках расчетов.

Относительно схем коррекции частотных и переходных характеристик. В основном они используются для расширения полосы пропускания усилителя в области высоких частот широкополосных и импульсных усилителей. Низкочастотные искажения чаще всего компенсируют увеличением номиналов реактивных элементов. Так как высокочастотные искажения зависят, в основном, от внутренних емкостей активных элементов, то проблема решается путем использования корректирующих элементов (L в коллекторной цепи – коллекторная коррекция и RC – цепочка в эмиттерной цепи – эмиттерная коррекция). Коллекторная коррекция расширяет полосу пропускания усилителя без снижения усиления

каскада. Эмиттерная коррекция базируется на использовании отрицательной обратной связи, которая снижает усиление и искажения усилителя, в том числе нелинейные. Что важнее – решает разработчик. Можно вообще пожертвовать усилением и решить вопрос за счет снижения сопротивления нагрузки.

Отдельный вопрос – рациональное проектирование выходных каскадов усилителей однополярных импульсных сигналов. В этом случае рабочую точку в выходном каскаде устанавливают внизу нагрузочной характеристики, т.е. открываться приходится коротким импульсом. Это снижает потребление усилителя и улучшает его быстродействие.

Особый случай, когда на выходе усилителя необходим эмиттерный повторитель (каскад с общим коллектором). Ведь если выходной каскад открывается импульсом, то предыдущий каскад с общим эмиттером, на транзисторах той же полярности, будет все время открыт, и закрываться на короткий промежуток. Чтобы избежать этого предыдущий транзистор должен быть обратной полярности.

По справочным данным громадного большинства интегральных схем их нагрузка не должна быть меньше 1 – 2 кОм. Это нужно учитывать, сопрягая микросхемы с последующими каскадами усилителя. Повышение входного сопротивления любого каскада с общим эмиттером можно осуществить за счет использования последовательной отрицательной обратной связи по току.

Относительно применения операционных усилителей. Это устройство может проявлять свои свойства только на сравнительно низких (звуковых) частотах. Это нужно учитывать.

Проверочный расчет может быть выполнен двумя способами. Первый и самый простой – подтверждение по результатам расчета соответствие поставленным требованиям по усилению и высокочастотным искажениям (искажениям фронтов импульсов).

Второй способ – моделирование работы схемы с подтверждением исходных данных в среде Micro-Cap.

Не следует забывать о расчете источника питания. Первая часть расчета – сам выпрямитель. Напряжение на выходе самого выпрямителя должно быть больше на (0.5 – 1) В для учета падения напряжения на индуктивностях и на (3 – 5) В для учета падения напряжения на RC-фильтрах. Ток, потребляемый усилителем, складывается из токов покоя каскадов, базовых токов каскадов, токов делителей напряжения смещения, амплитуды выходного напряжения, деленному на π в усилителе гармонических сигналов или деленному на скважность импульсов.

Вторая часть – расчет сглаживающего фильтра.

На электрической схеме источник сигналов и нагрузка отсутствуют. Для их подключения должны быть предусмотрены разъемы.

В перечень элементов записываются все электрорадиоэлементы разработанного устройства в порядке латинского алфавита позиционных обозначений и строго по возрастанию порядковых номеров.

4.3. Решение задач по определению параметров аналого-дискретных устройств

В целях подготовки к экзаменам проводится выборочное решение задач, приведенных ниже.

1). Рассчитать коэффициент усиления по току резисторного каскада, включенного по схеме с общим эмиттером, если известно, что: $C_{св} = 100$ мкФ, $R_3 = 200$ Ом, $R_K = 1$ кОм, $f = 1$ кГц, $I_K = 5$ мА, $R_{61} = 30$ кОм, $R_{62} = 7.5$ кОм, $E = 20$ В, $h_{21э} = 50$, $h_{11э} = 200$ Ом, $R_H = 1$ кОм.

2). Рассчитать элементы смещения и эмиттерной температурной стабилизации каскада с общим коллектором, если известно: транзистор германиевый, $R_3 = 1$ кОм, $I_K = 10$ мА, $h_{21э} = 100$, $h_{11э} = 100$ Ом, $E = 20$ В.

3). Рассчитать входное сопротивление каскада с общим коллектором, если известно: $R_3 = 1$ кОм, $R_{61} = 30$ кОм, $R_{62} = 30$ кОм, $I_K = 10$ мА, $h_{21э} = 50$, $h_{11э} = 200$ Ом, $C_{св} = 100$ мкФ, $R_H = 1$ кОм, $f = 1$ кГц, $E = 20$ В.

4). Рассчитать элементы смещения и эмиттерной температурной стабилизации каскада с общей базой, если известно: транзистор кремниевый, $R_K = 1$ кОм, $I_K = 10$ мА, $h_{21э} = 100$, $h_{11э} = 100$ Ом, $E = 20$ В.

5). Рассчитать входное сопротивление каскада с общей базой, если дано: $R_K = 1$ кОм, $R_3 = 200$ Ом, $R_{61} = 30$ кОм, $R_{62} = 7.5$ кОм, $h_{21э} = 50$, $h_{11э} = 200$ Ом, $C_{бл}$ - нет.

6). Рассчитать коэффициент частотных искажений в резисторном каскаде на частоте 100 кГц, если известно, что постоянная времени каскада на высоких частотах равна 1.5 мкс.

7). Рассчитать общее время установления импульса в 3-х каскадном усилителе, если известны времена установления в отдельных каскадах: $t_{y1} = 0.1$ мкс, $t_{y2} = 0.2$ мкс, $t_{y3} = 0.2$ мкс.

8). Рассчитать выходное сопротивление резисторного каскада, включенного по схеме с общим эмиттером, если известно, что: $C_{св} = 100$ мкФ, $R_3 = 200$ Ом, $R_K = 1$ кОм, $f = 1$ кГц, $I_K = 5$ мА, $R_{61} = 30$ кОм, $R_{62} = 7.5$ кОм, $E = 20$ В.

9). Рассчитать выходное сопротивление резисторного каскада, включенного по схеме с общей базой, если известно, что: $C_{св} = 100$ мкФ, $R_3 = 200$ Ом, $R_K = 1$ кОм, $f = 1$ кГц, $I_K = 5$ мА, $R_{61} = 30$ кОм, $R_{62} = 7.5$ кОм, $E = 20$ В, $C_{бл} = 100$ мкФ.

10). Определить фазовый сдвиг в резисторном каскаде, включенном по схеме с общим эмиттером, если известно, что: $C_0 = 2000$ пФ, $C_{св} = 100$ мкФ, $R_{эКВ-В} = 200$ Ом, $R_{эКВ-Н} = 400$ Ом, $f = 20$ кГц.

11). Рассчитать коэффициент частотных искажений в резисторном каскаде с общим эмиттером, если известно, что: $C_0 = 2000$ пФ, $C_{св} = 1$ мкФ, $R_{эКВ-В} = 200$ Ом, $R_{эКВ-Н} = 500$ Ом, $f = 20$ Гц.

12). Определить сквозной коэффициент усиления каскада, если известно, что: $U_1 = 1$ В, $U_2 = 10$ В, $R_{вх} = 0.1$ кОм, $R_c = 0.1$ кОм.

13). Вычислить величину индуктивности первичной обмотки трансформатора в каскаде с параметрами: $R_{\text{ЭКВ-Н}} = 100 \text{ Ом}$, $R_{\text{ЭКВ-В}} = 0.2 \text{ кОм}$, $M_{\text{Н}} = 2$, $M_{\text{В}} = 1.5$, $f_{\text{Н}} = 40 \text{ Гц}$, $f_{\text{В}} = 12 \text{ кГц}$.

14). Вычислить коэффициент гармоник усилителя, если известно, что $R_{\text{Н}} = 8 \text{ Ом}$, $U_{1\Gamma} = 10\text{В}$, $U_{2\Gamma} = 0.2\text{В}$, $U_{3\Gamma} = 0.112\text{В}$, $U_{4\Gamma} = 0.1\text{В}$.

15). Вычислить величину индуктивности рассеяния трансформатора в каскаде с параметрами: $f_{\text{Н}} = 50 \text{ Гц}$, $f_{\text{В}} = 20 \text{ кГц}$, $R_{\text{ЭКВ-Н}} = 100 \text{ Ом}$, $R_{\text{ЭКВ-В}} = 200 \text{ Ом}$, $M_{\text{Н}} = 2$, $M_{\text{В}} = 1.5$.

16). Рассчитать цепи смещения и температурной стабилизации в схеме резисторного каскада с истоковой стабилизацией, если известно: $R_{\text{С}} = 1 \text{ кОм}$, $E = 12 \text{ В}$, $I_{\text{С}} = 5 \text{ мА}$, $U_{\text{зи}} = -2 \text{ В}$.

17). Рассчитать входное сопротивление резисторного каскада с общей базой, если дано: $R_{\text{К}} = 1 \text{ кОм}$, $R_{\text{Э}} = 200 \text{ Ом}$, $R_{\text{Б1}} = 10 \text{ кОм}$, $R_{\text{Б2}} = 2 \text{ кОм}$, $h_{21\text{Э}} = 20$, $h_{11\text{Э}} = 100 \text{ Ом}$, $C_{\text{Б1}} = 100 \text{ мкФ}$, $f = 1 \text{ кГц}$.

18). Построить нагрузочную характеристику переменного тока резисторного каскада класса А с параметрами: $f = 1 \text{ кГц}$, $R_{\text{К}} = 100 \text{ Ом}$, $R_{\text{Н}} = 50 \text{ Ом}$, $C_{\text{СВ}} = 1000 \text{ мкФ}$, $E = 20 \text{ В}$.

19). Рассчитать величину емкости связи в резисторном каскаде с параметрами: $R_{\text{дел}} = 5 \text{ кОм}$, $R_{\text{С}} = 200 \text{ Ом}$, $f = 40 \text{ Гц}$, $r_{\text{б}}' = 200 \text{ Ом}$, $r_{\text{б}}'_{\text{Э}} = 50 \text{ Ом}$, $M_{\text{Н}} = 3 \text{ дБ}$.

20). Рассчитать входное сопротивление каскодной схемы, если известно, что: $R_{\text{дел}} = 10 \text{ кОм}$, $R_{\text{К}} = 1 \text{ кОм}$, $E = 12 \text{ В}$, $r_{\text{б}}' = 100 \text{ Ом}$, $I_{\text{К}} = 5 \text{ мА}$, $h_{21\text{Э1}} = 20$ (нижний транзистор), $h_{21\text{Э2}} = 40$

21). Рассчитать коэффициент усиления по току резисторного каскада с общим коллектором, если известно, что: $R_{\text{Э}} = 1 \text{ кОм}$, $R_{\text{Н}} = 1 \text{ кОм}$, $R_{\text{Б1}} = 20 \text{ кОм}$, $R_{\text{Б2}} = 20 \text{ кОм}$, $h_{21\text{Э}} = 100$, $h_{11\text{Э}} = 100 \text{ Ом}$, $R_{\text{С}} = 100 \text{ Ом}$.

22). Рассчитать выходное сопротивление резисторного каскада с общим коллектором, если известно, что: $R_{\text{Э}} = 1 \text{ кОм}$, $R_{\text{Н}} = 1 \text{ кОм}$, $R_{\text{Б1}} = 30 \text{ кОм}$, $R_{\text{Б2}} = 30 \text{ кОм}$, $h_{21\text{Э}} = 100$, $h_{11\text{Э}} = 100 \text{ Ом}$, $R_{\text{С}} = 1 \text{ кОм}$, $C_{\text{СВ}} = 100 \text{ мкФ}$, $f = 1 \text{ кГц}$.

23). Рассчитать выходное сопротивление каскодной схемы, если известно, что: $h_{21\text{Э1}} = 100$ (нижний транзистор), $h_{21\text{Э2}} = 50$, $h_{11\text{Э1}} = 100 \text{ Ом}$, $h_{11\text{Э2}} = 200 \text{ Ом}$, $R_{\text{К}} = 1 \text{ кОм}$, $R_{\text{Н}} = 1 \text{ кОм}$, $C_{\text{СВ}} = 100 \text{ мкФ}$, $f = 1 \text{ кГц}$.

24). Рассчитать элементы смещения и коллекторной температурной стабилизации каскада с общим эмиттером, если известно, что: транзистор кремниевый, $R_{\text{К}} = 1 \text{ кОм}$, $I_{\text{К}} = 10 \text{ мА}$, $h_{21\text{Э}} = 50$, $h_{11\text{Э}} = 100 \text{ Ом}$, $E = 20 \text{ В}$.

25). Рассчитать входное сопротивление каскада с общим эмиттером, если известно, что: $R_{\text{К}} = 1 \text{ кОм}$, $R_{\text{Э}} = 200 \text{ Ом}$, $R_{\text{Б1}} = 30 \text{ кОм}$, $R_{\text{Б2}} = 7.5 \text{ кОм}$, $I_{\text{К}} = 5 \text{ мА}$, $h_{21\text{Э}} = 40$, $E = 20 \text{ В}$, $C_{\text{К}} = 10 \text{ пФ}$, $\tau_{\text{К}} = 1000\text{пс}$ (постоянная времени коллекторной цепи).

26). Рассчитать коэффициент усиления каскада с общим эмиттером, если известно, что: $R_{\text{К}} = 1 \text{ кОм}$, $R_{\text{Э}} = 200 \text{ Ом}$, $R_{\text{Б1}} = 20 \text{ кОм}$, $R_{\text{Б2}} = 4.7 \text{ кОм}$, $h_{21\text{Э}} = 30$, $C_{\text{СВ}} = 100 \text{ мкФ}$, $f = 1 \text{ кГц}$, $h_{11\text{Э}} = 100 \text{ Ом}$, $R_{\text{Н}} = 1 \text{ кОм}$.

27). Рассчитать входное сопротивление резисторного каскада с общей базой, если дано: $R_k = 2 \text{ кОм}$, $R_3 = 1 \text{ кОм}$, $R_{б1} = 20 \text{ кОм}$, $R_{б2} = 9.1 \text{ кОм}$, $h_{21э} = 50$, $h_{11э} = 100 \text{ Ом}$, $C_{бл} = 100 \text{ мкФ}$, $f = 1 \text{ кГц}$.

28). Рассчитать элементы смещения и эмиттерной температурной стабилизации каскада с общим эмиттером, если известно, что: транзистор кремниевый, $R_k = 1 \text{ кОм}$, $h_{21э} = 50$, $I_k = 5 \text{ мА}$, $E = 12 \text{ В}$.

29). Каково время установления импульса, если частота верхнего среза усилителя $f_{вс} = 3 \text{ МГц}$?

30). Оценить спад плоской вершины импульса длительностью $T = 1 \text{ мс}$ за счет действия емкости связи $C_{св} = 10 \text{ мкФ}$, если известно, что эквивалентное сопротивление каскада на низких частотах $R_{эКВ-Н} = 1 \text{ кОм}$.

31). По известному времени установления импульса на выходе усилителя $t_y = 0.1 \text{ мкс}$ определить его ширину полосы пропускания.

32). Каково время задержки импульса, если известны параметры усилителя: $K = 100$, $f_{нс} = 20 \text{ Гц}$, $f_{вс} = 2 \text{ МГц}$?

33). Рассчитать схему инвертирующего усилителя на операционном усилителе с $R_{вх} = 10 \text{ кОм}$ и $K = 100$.

34). Рассчитать величину зоны гистерезиса компаратора, если известны его выходные уровни сигналов $U^1 = 2.4 \text{ В}$, $U^0 = 0.35 \text{ В}$; $R_{вх} = 1 \text{ кОм}$, $R_{ос} = 10 \text{ кОм}$.

35). Определить максимальное значение крутизны усиления дифференциального каскада при нормальной температуре и симметричном по входу включении, если известно, что $h_{21э} = 20$, $I_0 = 2 \text{ мА}$.

36). Найти усиление по напряжению дифференциального каскада в симметричном по входу и выходу включениях, если известно, что $R_{к1} = R_{к2} = 1 \text{ кОм}$, $R_{н} = 1 \text{ кОм}$, $h_{21э} = 0.95$, $I_0 = 4 \text{ мА}$.

37). Определить входное сопротивление дифференциального каскада в симметричном по входу и несимметричном по выходу включении, если известно, что $h_{21э} = 20$, $h_{11э} = 500 \text{ Ом}$, $I_0 = 1 \text{ мА}$, $R_{дел} = 2 \text{ кОм}$, $R_k = 1 \text{ кОм}$, $R_{н} = 1 \text{ кОм}$.

38). Определить входное сопротивление дифференциального каскада в несимметричном по входу и симметричном по выходу включении, если известно, что $h_{21э} = 20$, $h_{11э} = 1 \text{ кОм}$, $I_0 = 1 \text{ мА}$, $R_{дел} = 2 \text{ кОм}$, $R_k = 1 \text{ кОм}$, $R_{н} = 1 \text{ кОм}$, $C_{бл}$ - нет.

39). Определить входное сопротивление дифференциального каскада в несимметричном по входу и несимметричном по выходу включении, если известно, что $h_{21э} = 20$, $h_{11э} = 500 \text{ Ом}$, $I_0 = 1 \text{ мА}$, $R_{дел} = 2 \text{ кОм}$, $R_k = 1 \text{ кОм}$, $R_{н} = 1 \text{ кОм}$, $C_{бл} = 100 \text{ мкФ}$.

40). Определить выходное сопротивление дифференциального каскада в симметричном по входу включении, если известно, что $I_0 = 5 \text{ мА}$, $S = 20 \text{ мА/В}$, $R_{к1} = R_{к2} = 1 \text{ кОм}$, $R_{н} = 1 \text{ кОм}$, $h_{11э} = 200 \text{ Ом}$.

41). Найти входное сопротивление дифференциального каскада в касковом включении, если известно, что $h_{21э} = 20$, $h_{11э} = 200 \text{ Ом}$, $R_э = 100 \text{ Ом}$, $R_{дел} = 10 \text{ кОм}$, $R_к = 1 \text{ кОм}$.

42). Найти коэффициент усиления по напряжению дифференциального каскада в касковом включении, если известно, что $R_к = 1 \text{ кОм}$, $R_н = 1 \text{ кОм}$, $R_э = 200 \text{ Ом}$, $I_о = 2 \text{ мА}$, $E = 20 \text{ В}$.

43). Какой ток создает токопитающий транзистор дифференциального каскада, если известно, что $E = 12 \text{ В}$, $R_{дел1} = 10 \text{ кОм}$, $R_{дел2} = 2 \text{ кОм}$, $R_э = 0.6 \text{ кОм}$?

44). Какое усиление обеспечивает операционный усилитель в неинвертирующем включении, если известно, что $R_{вх} = 1 \text{ кОм}$, $R_{ос} = 10 \text{ кОм}$, $K_{оу} = 200000$, $I_{вх} = 1 \text{ нА}$?

45). Определить среднеквадратичное напряжение тепловых шумов, создаваемых сопротивлением $R = 10 \text{ кОм}$ в полосе частот от $f_н = 50 \text{ Гц}$ до $f_в = 3 \text{ МГц}$.

46). Найти коэффициент шума усилителя, где $P_{с вх} = 10 \text{ мкВт}$, $P_{ш вх} = 1 \text{ мкВт}$, $K_p = 10^6$, $P_{ш вых} = 3 \text{ Вт}$.

47). Оценить изменение входного сопротивления $R_{вх ос}$ транзистора, охваченного параллельной отрицательной обратной связью по напряжению, если дано: $K = 100$, $R_{вх} = 1 \text{ кОм}$, $R_{ос} = 10 \text{ кОм}$, $R_с = 1 \text{ кОм}$.

48). Как изменится входное сопротивление $R_{вх ос}$ транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, охваченного последовательной обратной связью по току, если известно: $K = 10$, $h_{21э} = 20$, $h_{11э} = 100 \text{ Ом}$, $R_э = 100 \text{ Ом}$, $R_к = 1 \text{ кОм}$, $C_{бл}$ - нет?

49). Оценить устойчивость усилителя по критерию Боде на верхних частотах, если известно, что он состоит из трех одинаковых каскадов с частотами верхнего среза $f_{вс1} = f_{вс2} = f_{вс3} = 100 \text{ кГц}$, усилением каскадов $K_{1дБ} = K_{2дБ} = K_{3дБ} = 20$, общим усилением при наличии обратной связи $K_{общ дБ} = 20$.

50). Оценить изменение усиления по напряжению каскада, охваченного параллельной по напряжению связью по исходным данным: $K = 100$, $h_{11э} = 100 \text{ Ом}$, $R_{ос} = 10 \text{ кОм}$, $E = 10 \text{ В}$, $h_{21э} = 0.95$.

51). Оценить нестабильность усиления устройства, охваченного параллельной отрицательной обратной связью по напряжению по следующим исходным данным: $K = 100$, $R_{вх} = 1 \text{ кОм}$, $R_{ос} = 9.1 \text{ кОм}$, $R_с = 1 \text{ кОм}$, $dK_e = 1$.

52). Вычислить амплитуду выходного сигнала квадратичного амплитудного детектора, выполненного на аналоговом перемножителе, если амплитудное значение входного сигнала $U_{вх макс} = 100 \text{ мВ}$, коэффициент передачи перемножителя $K = 1$, фильтра $K_ф = 0.5$.

53). Как изменятся параметры усилителя, где транзистор включен по схеме с общим эмиттером, если пропадет контакт с верхним по схеме сопротивлением базового делителя?

54). Как изменятся параметры усилителя, где транзистор включен по схеме с общим эмиттером, если пропадет контакт с нижним по схеме сопротивлением базового делителя?

55). Как изменятся параметры усилителя, где транзистор включен по схеме с общим эмиттером, если будет пробит конденсатор в цепи эмиттерной термостабилизации?

56). Как изменятся параметры усилителя, где транзистор включен по схеме с общим эмиттером, если пропадет контакт с конденсатором в цепи эмиттерной термостабилизации?

57). Как изменятся параметры усилителя, где транзистор включен по схеме с общим эмиттером, если потеряет емкость (высохнет) электролитический конденсатор в цепи эмиттерной термостабилизации?

58). Как изменятся параметры усилителя, где транзистор включен по схеме с общим эмиттером, если потеряет емкость (высохнет) электролитический конденсатор межкаскадной связи?

59). Как изменятся параметры усилителя, где транзистор включен по схеме с общим эмиттером, если будет пробит конденсатор межкаскадной связи?

60). Как изменятся параметры усилителя, где транзистор включен по схеме с общей базой, если будет пробит блокировочный конденсатор в базовой цепи?

61). Как изменятся параметры усилителя с индуктивной ВЧ коррекцией, где транзистор включен с общим эмиттером, если при монтаже ошибочно установлен резистор коллекторной нагрузки вдвое меньшей величины?

62). Как изменятся параметры усилителя с емкостной ВЧ коррекцией, где транзистор включен с общим эмиттером, если при монтаже ошибочно установлен корректирующий конденсатор вдвое большей величины?

63). Каково должно быть напряжение в точке соединения выходных транзисторов двухтактного бестрансформаторного каскада?

64). Как определить в схеме, не выпаивая транзистор, пробит ли его базовый переход?

65). Как определить в схеме, не выпаивая транзистор, пробит ли его коллекторный переход?

66). Как в работающей схеме определить ток, протекающий через транзистор?

67). Что произойдет, если не будет соблюдена правильная полярность подключения электролитического конденсатора межкаскадной связи? Какова она должна быть?

68). Что произойдет, если не будет соблюдена правильная полярность подключения электролитического конденсатора в сглаживающем фильтре выпрямителя?

69). В чем причина, если наблюдается уменьшение выходного напряжения параметрического стабилизатора на стабилитроне?

70). Безразлично или нет подключение начал и концов обмоток в транзисторном преобразователе напряжения? Если нет, то, как они должны быть включены?

Литература

1) Сафоненков Ю.П. Схемотехника. Часть 1. Основы теории аналоговых схем: Тексты лекций. – М., МГТУ ГА, 2006.

2) Сафоненков Ю.П. Схемотехника. Часть 1. Аналого-дискретные устройства: Тексты лекций. – М.: МГТУ ГА, 2007.

3) Сафоненков Ю.П. Проблемно-ориентированные пакеты прикладных программ в радиотехнике: Тексты лекций. – М.: МГТУ ГА, 2005.

4) Сафоненков Ю.П. Проблемно-ориентированные пакеты прикладных программ в радиотехнике: Пособие к выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА

5) Проектирование усилительных устройств; Под ред. Н.В.Терпугова. – М.: Высшая школа, 1985.

6) Проектирование усилительных устройств на транзисторах; Под ред. Г.В. Войшвилло. – М.: Связь, 1972.

7) Варшавер Б.А. Расчет и проектирование импульсных усилителей. – М.: Высшая школа, 1973.

8) Александрова Т.С. Проектирование усилителей телевизионных сигналов. – М.: Связь, 1971.

9) Цыкина А.В. Проектирование транзисторных усилителей низкой частоты. – М.: Связь, 1968.

10) Кожарский Г.В., Орехов В.И. Методы автоматизированного проектирования источников вторичного электропитания. – М.: Радио и связь, 1985.

11) Алексеев А.Г., Войшвилло Г.В., Трискало А. Усилительные устройства. Сборник задач и упражнений; Под ред. Г.В.Войшвилло. - М.: Радио и связь, 1986.

12) Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник; Под ред. Б.Л.Перельмана. – М.: Радио и связь, 1981.

13) Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник; Под ред. С.В.Якубовского. – М.: Радио и связь, 1989.

14) Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности: Справочник / Под ред. А.В.Голомедова. М.: Радио и связь, 1989.

15) Полупроводниковые приборы. Транзисторы средней и большой мощности: Справочник / Под ред. А.В.Голомедова. – М.: Радио и связь, 1989.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ	3
2. ПОРЯДОК ПРОХОЖДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ	3
2.1. Подготовка к занятиям	3
2.2. Работа в аудитории	3
2.3. Работа в классе ПЭВМ	3
3. СОДЕРЖАНИЕ И ТЕМЫ ЗАДАНИЙ	4
4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЙ ...	4
4.1. Предварительный расчет	4
4.2. Практическое изучение математической программы MathCad и электронной книги по расчету аналого-дискретных устройств	10
4.3. Решение задач по определению параметров аналого-дискретных Устройств	18