

Министерство образования Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Северо-Западный государственный заочный технический университет

Кафедра радиотехники

СХЕМОТЕХНИКА АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Рабочая программа
Задание на контрольную работу и курсовой проект

Методические указания
к выполнению контрольной работы

Факультет радиоэлектроники
Направление и специальность подготовки
дипломированного специалиста:
654200 – радиотехника
200700 – радиотехника
Направление подготовки бакалавра
552500 – радиотехника

Санкт-Петербург
2004

Утверждено редакционно-издательским советом университета
УДК 621.375 (07)

Схемотехника аналоговых электронных устройств: Рабочая программа, задания на контрольную работу и курсовой проект. – СПб.:СЗТУ, 2004.-21 с.

Рабочая программа соответствует требованиям государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлению и специальности подготовки дипломированных специалистов: 654200 – “Радиотехника”, 200700 – Радиотехника, а также направлению подготовки бакалавров 552500 – “Радиотехника”.

Методический сборник содержит рабочую программу, тематический план лекций, темы лабораторных и практических занятий, задания на контрольную работу и методические указания к ее выполнению, а также задания на курсовой проект.

Рассмотрено и утверждено на заседании кафедры радиотехники 19 мая 2003 года, одобрено методической комиссией факультета радиоэлектроники 20 мая 2003 года.

Рецензенты: кафедра радиотехники СЗТУ (зав. кафедрой Г. И. Худяков д-р техн. наук, проф.);
К. Г. Ершов, засл. работник культуры РФ, проф.,
зав. кафедрой звукотехники Санкт-Петербургского
университета кино и телевидения.

Составители: Л. В. Бессчетнова, канд. техн. наук, доц.;
Ю. И. Кузьмин, канд. техн. наук, доц.

Предисловие

Дисциплина “Схемотехника аналоговых электронных устройств” является базовой при подготовке радиоинженеров, специализирующихся в области разработки и проектирования радиоаппаратуры.

Целью дисциплины “Схемотехника аналоговых электронных устройств” является привить студентам знания и навыки, позволяющие технически грамотно осуществлять синтез принципиальных схем аналоговых трактов типовой радиоэлектронной аппаратуры, обоснованный выбор структуры и компонентов этих схем.

Основная задача дисциплины состоит в том, чтобы студент усвоил принципы построения и работы типовых схемных конфигураций, используемых при создании аналоговых трактов усиления и преобразования аналоговых сигналов, в том числе усилителей постоянного тока, широкополосных усилителей и усилителей предельной чувствительности, усилителей мощности.

В результате изучения дисциплины студент должен:

иметь представление:

– о способах проектирования и разработки аналоговых устройств с заданными параметрами:

знать:

- основные технические показатели аналоговых устройств;
- режимы работы усилительных элементов;
- свойства усилителей с обратной связью;
- схемы включения транзистора и их обобщение;
- многокаскадные и широкополосные усилители;
- функциональные устройства на операционных усилителях;
- устройства регулировки усиления, перемножения и деления сигналов;
- усилители высокой чувствительности;

уметь:

– рассчитать и грамотно спроектировать в соответствии с техническим заданием любой аналоговый тракт типовой радиоэлектронной аппаратуры.

Изучение дисциплины основывается на знаниях, полученных в результате изучения дисциплин: “Высшая математика”, “Информатика”, “Физика”, “Основы теории цепей”, “Радиотехнические цепи и сигналы”.

Итогом изучения дисциплины является защита курсового проекта и сдача студентами экзамена.

1. Содержание дисциплины

1.1. Рабочая программа

(140 часов)

Введение

[1], с. 5–8

Определение аналоговых электронных устройств. Принципы их построения, особенности функционирования и область применения, усилительные устройства и их роль при синтезе трактов аналоговой обработки сигналов.

1.1.1. Показатели и характеристики аналоговых электронных устройств

[1], с. 8–29

Требования к аналоговым электронным устройствам. Характеристики и показатели, определяющие усиление, преобразование и искажения аналоговых сигналов.

1.1.2. Обратная связь и ее влияние на показатели и характеристики аналоговых устройств

[1], с. 30–52

Принцип и назначение обратной связи. Основные способы ее обеспечения. Влияние обратной связи на основные показатели усилительных устройств. Причины преимущественного использования в усилителях отрицательной обратной связи (ООС). Устойчивость устройств, охваченных ООС. Критерий устойчивости Найквиста.

1.1.3. Транзисторный усилительный каскад

[1], с. 52–76

Особенности анализа транзисторного каскада, связанные с малым уровнем входного сигнала. Схемы включения транзисторов и их обобщение. Первичные параметры транзистора и методы расчета технических показателей каскада для включения ОБ, ОЭ, ОК. Зависимость основных технических показателей от сопротивления нагрузки и сопротивления источника сигналов.

1.1.4. Обеспечение и стабилизация режима работы транзисторов по постоянному току

[1], с. 88–95, [2], с. 37–47

Цепи питания, обеспечивающие режим работы транзисторов по постоянному току. Значение этих цепей.

Обеспечение необходимого режима работы транзисторов по постоянному току с помощью простейших цепей. Влияние условий эксплуатации и разброса параметров транзисторов на режим их работы по постоянному току; необходимость стабилизации тока покоя выходной цепи транзистора.

Стабилизация режима работы транзисторов по постоянному току с помощью отрицательной обратной связи. Цепи, обеспечивающие стабилизацию в одиночных каскадах.

1.1.5. Каскады предварительного усиления

[1], с. 96–109, [2], с. 96–130, с. 170–196

Требования, предъявляемые к каскадам предварительного усиления и особенности их анализа, связанные с малым уровнем входного сигнала, при котором нелинейность характеристик транзистора можно не учитывать.

Применение эквивалентных схем для анализа каскадов предварительного усиления. Модели усилительных элементов, используемые при анализе этих каскадов.

Применение усилительных элементов, состоящих из нескольких транзисторов.

Усилительные каскады с транзисторами, включенными с общим эмиттером и общим истоком. Резисторные каскады предварительного усиления, их принципиальные и эквивалентные схемы. Применение динамической нагрузки. Коэффициент усиления, частотные характеристики каскада в области малых времен. Площадь усиления резисторного каскада.

Применение цепей коррекции для увеличения площади усиления и получения частотных и переходных характеристик заданной формы.

Усилительный каскад с транзистором, включенным с общим коллектором и общим стоком. Эмиттерный и истоковый повторители напряжения.

Усилительный каскад с транзистором, включенным с общей базой.

Дифференциальный усилительный каскад. Основные свойства и расчет этого каскада. Коэффициент усиления по дифференциальному и синфазному сигналам. Относительное ослабление синфазной составляющей сигнала. Дифференциальные усилительные каскады с повышенным значением коэффициента усиления и входного сопротивления. Применение токового зеркала в дифференциальном каскаде.

Частотные искажения в области нижних частот и искажения вершины импульса, возникающие в резисторных каскадах усилителей переменного тока вследствие наличия разделительных конденсаторов и блокировочных конденсаторов в эмиттерной (истоковой) цепи усилительного элемента.

Входные каскады предварительного усиления и их шумовые свойства; определение шумов, вносимых этими каскадами.

1.1.6. Оконечные усилительные каскады

[1], с. 110–126, [2], с. 155–164

Требования, предъявляемые к оконечным каскадам усиления и особенности их расчета, обусловленные использованием большого участка нагрузочной характеристики, нелинейность которой необходимо учитывать.

Режим работы усилительных элементов в усилительных каскадах. Коэффициент полезного действия и допустимая мощность рассеяния на транзисторе с учетом температуры окружающей среды и наличия радиатора.

Однотактные каскады. Построение нагрузочных характеристик. Определение нелинейных искажений.

Двухтактные оконечные каскады. Особенности работы и свойства двухтактных каскадов. Применение режима *B*. Нелинейные искажения в двух-

тактных каскадах. Бестрансформаторные двухтактные каскады в усилителях постоянного тока и в усилителях звуковой частоты.

Оконечные каскады усиления мощности с повышенным КПД, работающие в режиме *D* с ШИМ и в режиме *BC*.

1.1.7. Операционные усилители

[2], с. 197–241

Операционные усилители и их свойства. Принципы и особенности организации обработки сигналов в схемах на операционных усилителях (ОУ). Типовые способы включения ОУ. Методика приближенного анализа передаточных и других свойств схем на ОУ. Сумматоры напряжений на базе ОУ. Широкополосные усилители на базе ОУ. Компараторы сигналов.

1.1.8. Устройства регулирования, перемножения и деления сигналов

[2], с. 242–257

Регуляторы усиления. Основные назначения и специфические показатели аналоговых перемножителей. Перемножители на дифференциальных каскадах с управляемым усилением. Перемножители и делители на основе управляемых сопротивлений.

1.1.9. Усилители высокой чувствительности

[2], с. 258–297

Методы представления и анализа шумовых свойств аналоговых трактов. Характеристики источников собственных шумов усилительных трактов. Методика приближенного вычисления отношения сигнал/шум.

1.1.10. Активные RC-фильтры

[2], с. 298–315

Общие сведения, аппроксимация характеристик. Звенья ФНЧ и ФВЧ первого порядка. Звенья второго порядка на усилителях с конечным коэффициентом усиления. Звенья второго порядка на усилителях с неограниченным коэффициентом усиления.

1.2. Тематический план лекций

(для студентов очно-заочной формы обучения)

(24 часа)

Таблица 1

Темы лекций	Объем, час
1. Основные технические показатели аналоговых электронных устройств	2
2. Искажения, вносимые усилителем	2
3. Основные определения и классификация видов обратной связи	2
4. Эквивалентные параметры усилителя с обратной связью	2
5. Стабилизирующее действие обратной связи и устойчивость усилителей с обратной связью	2
6. Транзисторный усилительный каскад. Схемы включения транзистора и их обобщение	2
7. Исследование основных технических показателей транзисторного каскада для схем включения ОБ, ОЭ, ОК	2
8. Работа транзистора при больших уровнях сигнала. Построение динамических характеристик. Режимы работы транзисторов	2
9. Оконечные усилительные каскады	2

10. Обеспечение исходного режима работы транзисторов	2
11. Каскады предварительного усиления. Резистивный каскад ОЭ	2
12. Широкополосные каскады усиления непрерывных колебаний	2

1.3. Темы практических занятий

(8 часов)

Таблица 2

Темы практических занятий	Объем, час
1. Энергетический расчет режима транзисторов оконечного каскада	2
2. Расчет нелинейных искажений оконечного каскада	2
3. Расчет каскадов предварительного усиления	2
4. Расчет цепей отрицательной обратной связи	2

1.4. Темы лабораторных занятий по дисциплине

(16 часов)

Таблица 3

Тема лабораторных занятий	Объем, час	Деятельность студента
1. Исследование свойств отрицательной обратной связи	2	Студент знакомится с принципиальной схемой макета и исследует три вида обратной связи
2. Исследование амплитудно-частотных характеристик резистивного каскада ОЭ	2	Студент знакомится с принципиальной схемой макета и исследует влияние постоянной времени на частотные характеристики
3. Исследование методов коррекции амплитудно-частотных характеристик	2	Студент знакомится с принципиальной схемой макета и исследует влияние различных видов коррекции на частотные характеристики
4. Исследование эмиттерной высокочастотной коррекции посредством моделирования на ПЭВМ	2	На персональном компьютере студент моделирует частотные характеристики заданной формы
5. Исследование операционного усилителя	2	Студент знакомится с макетом и исследует свойства операционного усилителя для различных его включений
6. Исследование оконечного каскада при работе транзистора в режиме А	4	Студент исследует однотактный и двухтактный оконечные каскады, измеряет нелинейные искажения
7. Исследование оконечного каскада при работе транзистора в режиме В	2	Студент исследует двухтактный оконечный каскад и рассчитывает его энергетические показатели

2. Библиографический список

1. Бессчетнова Л. В., Кузьмин Ю. И., Малинин С. И. Схемотехника аналоговых электронных устройств. Письменные лекции. – СПб.: СЗТУ, 2003.

2. Павлов В. Н., Ногин В. Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. – М.: “Горячая линия – телеком”, 2001.

3. Схемотехника аналоговых электронных устройств. Методические указания к курсовому проектированию/ Сост: Бессчетнова Л. В., Кузьмин Ю. И., Малинин С. И. - СПб.: СЗПИ, 2000.

3. Темы рефератов

- 3.1. Линейные и нелинейные искажения в усилителях.
- 3.2. Применение в усилителях обратной связи.
- 3.3. Транзисторный усилительный каскад.
- 3.4. Работа транзистора при больших уровнях сигнала.
- 3.5. Обеспечение исходного режима работы транзисторов.
- 3.6. Каскады предварительного усиления.
- 3.7. Оконечные усилительные каскады.
- 3.8. Операционные усилители.
- 3.9. Усилители высокой чувствительности.
- 3.10. Активные RC-фильтры.

4. Тестовые задания

- 4.1. Что называется усилением?
- 4.2. Что называется усилительным каскадом?
- 4.3. Как классифицируются искажения, вносимые усилителем?
- 4.4. Чем принципиально отличаются нелинейные искажения от линейных?
- 4.5. Что такое чисто отрицательная обратная связь?
- 4.6. Что называется самовозбуждением?
- 4.7. Как классифицируются схемы включения транзистора?
- 4.8. Какая из схем включения транзистора имеет наибольший коэффициент усиления по току?
- 4.9. Какая из схем включения транзистора имеет наибольшее входное сопротивление?
- 4.10. Какая из схем включения транзистора называется эмиттерным повторителем?
- 4.11. Какая из схем включения транзистора имеет наибольшее усиление по мощности?
- 4.12. Какими параметрами характеризуется исходный режим работы транзистора?
- 4.13. Что такое режим класса А?
- 4.14. Что такое режим класса В?
- 4.15. Когда целесообразно применять коллекторную стабилизацию исходного режима?
- 4.16. Что такое коэффициент неустойчивости?
- 4.17. В чем физический смысл эмиттерной стабилизации?
- 4.18. От чего зависит коэффициент усиления по напряжению резистивного каскада с ОЭ?
- 4.19. Каково усиление по напряжению каскада с ОК?
- 4.20. Что такое коэффициент добротности?

5. Задание на контрольную работу и методические указания к ее выполнению

Студенты выполняют контрольную работу, в которой необходимо решить одну из трех задач. Вариант исходных данных к задачам выбирается по таблицам 1–3 в соответствии с двумя последними цифрами шифра студента.

Так, задачу 1 решают студенты, последние цифры шифра которых 00–29; задачу 2 решают студенты, имеющие последние цифры шифра 30–59 и т.д.

Контрольная работа

Задача 1

Рассчитать двухтактный бестрансформаторный оконечный каскад ОК (схема приведена на рис. 1) с транзисторами различных типов проводимости, работающий в режиме *AB*.

Содержание расчетов

1. Определить режим работы транзистора по выходной цепи, рассчитав параметры $U_{кэ0}, I_{к0}, I_{к\max}, \eta$.
 2. Определить режим работы транзистора по входной цепи, рассчитав величины $I_{б0}, U_{б0}, I_{бт}, U_{вхт}, R_{вх}, P_{вх}$.
 3. Рассчитать коэффициенты усиления каскада по току K_I , по напряжению K_U и по мощности K_P .
 4. Рассчитать емкость $C_{нос}$ и сопротивления $R_{нос}$ цепи положительной обратной связи.
- Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.

Указания

1. Расчет режима работы транзисторов по выходной цепи выполняется с учетом того, что максимальный импульс тока $I_{к\max} = I_{э\max}$ и амплитуда напряжения $U_{эт} = U_{кт}$ определяются как

$$U_{кт} = \sqrt{2P_2 / R_n}; \quad I_{к\max} = \sqrt{2P_2 / U_{кт}}$$

Напряжение между коллектором и эмиттером в исходной точке $U_{кэ0} = U_{ост} + U_{кт}$, где $U_{ост}$ – остаточное напряжение, отсекающее на выходной статической характеристике транзистора область больших

2. Емкость накопительного конденсатора C , мкФ рассчитывается как

$$C = \frac{I_{\kappa \max}}{2\pi f_n \Delta E_{\kappa}} \cdot 10^6,$$

где $\Delta E_{\kappa} = (0,1 \dots 0,15)E_{\kappa}$.

3. Расчет режима транзистора по входной цепи выполняется следующим образом. Амплитуда входного напряжения $U_{\text{вхт}}$ и входное сопротивление каскада $R_{\text{вх}}$ без учета влияния цепей смещения и стабилизации определяются из выражений:

$$U_{\text{вхт}} = U_{\text{бт}} + U_{\text{кт}},$$

где

$$U_{\text{бт}} = U_{\text{б max}} - U_{\text{бэ0}};$$

$$U_{\text{кт}} = I_{\kappa \max} \cdot R_n; R_{\text{вх}} = U_{\text{вхт}} / I_{\text{бт}},$$

здесь

$$I_{\text{бт}} = I_{\text{б max}} - I_{\text{б0}}.$$

Входная мощность

$$P_{\text{вх}} = 0,5U_{\text{вхт}} \cdot I_{\text{бт}}.$$

С учетом того, что могут быть использованы транзисторы с минимальным β , входная мощность

$$P'_{\text{вх}} = 0,5U_{\text{вхт}} \cdot \frac{I_{\kappa \max}}{\beta_{\min}}.$$

Сопротивление цепи положительной обратной связи (ПОС)

$$R_{\text{нос}} = (10 \dots 15)R_n.$$

Емкость конденсатора цепи ПОС, мкФ

$$C_{\text{нос}} = \frac{10^6}{2\pi f_n R_{\text{нос}} \sqrt{M_{\text{нс}}^2 - 1}}.$$

Диоды, обеспечивающие температурную стабилизацию, выбираются по величине $U_{\text{бэ0}}$.

Если при этом постоянное напряжение на диодах $U_{\text{д}}$ оказывается больше, чем $U_{\text{бэ0}}$, то диод шунтируют резистором $R_{\text{ш}}$, сопротивление которого

$$R_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{бэ0}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{бт}} \cdot (U_{\text{д}} - U_{\text{бэ0}})}.$$

4. Коэффициенты усиления по напряжению K_U и по мощности K_P , а также КПД каскада η определяются из следующих выражений:

$$K_U = U_{\text{кт}} / U_{\text{вхт}}; K_P = P_2 / P_{\text{вх}}; \eta = P_2 / P_0,$$

где $P_0 = I_{\text{ксп}} \cdot E; I_{\text{ксп}} = 0,32(I_{\kappa \max} + I_{\kappa 0}(\pi - 1))$.

Задача 2

Рассчитать двухтактный трансформаторный оконечный каскад ОЭ (схема приведена на рис. 2) с транзисторами одинакового типа проводимости, работающими в режиме B .

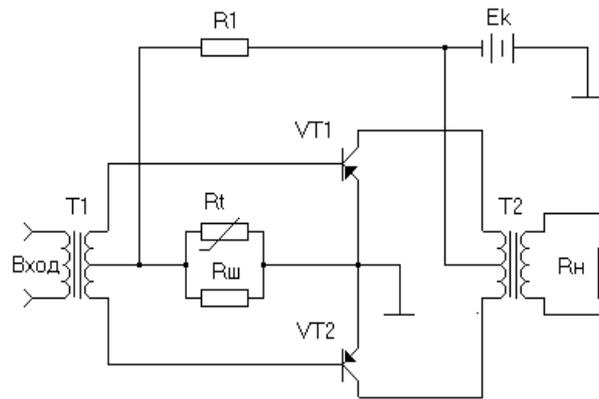


Рис. 2. Трансформаторный оконечный каскад, работающий в режиме В.

Содержание расчетов

При проведении расчетов необходимо руководствоваться аналогичным разделом задачи 1. Кроме того, надо выполнить электрический расчет выходного трансформатора, определив индуктивность первичной обмотки L , активные сопротивления первичной r_1 и вторичной r_2 обмоток; рассчитать нелинейную стабилизацию исходного режима, определив сопротивления резисторов R_1 и

$$R_2 = \frac{R_{ш} \cdot R_T}{R_{ш} + R_T}.$$

Исходные данные для расчета приведены в табл. 2, в которой приняты те же обозначения, что и в табл. 1, кроме $M_{нл}$ – допустимого коэффициента частотных искажений, обусловленных индуктивностью трансформатора; $t_{c \max}$ – максимальной температуры окружающей среды.

Таблица 2

Варианты	Тип транзистора	P_2 , Вт	$R_{н2}$, Ом	$E_{к5}$, В	$t_{c \max}$, °С	$f_{н2}$, Гц	$M_{нл}$
30	КТ814Б	1,0	10	12	+35	20	1,13
31	КТ814В	2,0	8	14	+45	30	1,09
32	КТ814Б	3,0	8	16	+40	40	1,08
33	КТ814В	4,0	6	24	+45	60	1,06
34	КТ814В	5,0	8	24	+40	60	1,06
35	КТ814Б	6,0	8	28	+45	70	1,05
36	КТ814Б	7,0	4	32	+40	80	1,04
37	КТ814В	8,0	6	35	+45	30	1,08
38	КТ816А	9,0	8	37	+30	50	1,05
39	КТ816Б	10,0	6	30	+45	60	1,05
40	КТ816Б	11,0	5	32	+30	80	1,04
41	КТ816Б	12,0	10	34	+35	35	1,10
42	КТ816Б	13,0	8	35	+45	55	1,07
43	КТ816В	14,0	6	36	+40	70	1,04
44	КТ816В	15,0	5	40	+50	55	1,06
45	КТ816В	16,0	4	42	+45	65	1,05
46	КТ816Б	17,0	8	43	+40	30	1,09
47	КТ816В	18,0	6	44	+45	40	1,08
48	КТ816А	19,0	3	45	+30	50	1,06
49	КТ816Б	20,0	4	46	+30	60	1,08
50	КТ816Б	21,0	5	47	+35	70	1,05
51	КТ816А	22,0	6	48	+40	80	1,04

52	КТ818А	24,0	8	55	+45	60	1,06
53	КТ818А	26,0	3	50	+30	45	1,08
54	КТ818Б	28,0	6	54	+35	20	1,12
55	КТ818Б	30,0	5	58	+40	30	1,09
56	КТ818Б	35,0	3	43	+40	45	1,10
57	КТ818Б	40,0	8	48	+35	20	1,12
58	КТ818Б	44,0	4	50	+45	30	1,08
59	КТ818Б	48,0	6	55	+35	50	1,06

Указания

1. Для расчета каскада используется графоаналитический метод. Колебательная мощность P_{\sim} , которую должен отдать транзистор, определяется в соответствии с выражением

$$P_{\sim} = P_2 / \eta_T,$$

где P_2 – заданная величина мощности усилителя; $\eta_T = 0,6 \dots 0,85$ – КПД выходного трансформатора.

2. Исходное напряжение между коллектором и эмиттером рассчитывается как $U_{кэо} \cong 0,9E_k$.

Амплитуда напряжения в коллекторной цепи

$$U_{кт} = U_{кэо} - U_{ост},$$

где $U_{ост}$ – остаточное напряжение, отсекающее на выходной статической характеристике транзистора область больших нелинейных искажений.

3. Максимальный ток коллектора $I_{к\max}$ определяется как

$$I_{к\max} = \frac{2P_{\sim}}{U_{кэо} - U_{ост}};$$

ток покоя $I_{ко} = (0,05 \dots 0,08)I_{к\max}$.

4. Потребляемая мощность P_0 рассчитывается следующим образом:

$$P_0 = 2E_k \cdot I_{ксп},$$

где $I_{ксп} \cong I_{к\max} | \pi$.

5. Расчет режима работы каскада по входной цепи производится в соответствии с методикой, указанной в [3], с. 10–11.

6. Расчет элементов температурной стабилизации выполняется следующим образом. Величина сопротивления делителя в цепи базы выбирается из соотношения $R_{дел} = (0,5 \dots 1,5)R_{вх}$, где эквивалентное параллельное сопротивление делителя

$$R_{дел} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2},$$

причем

$$R_2 = \frac{R_{ш} \cdot R_T}{R_{ш} + R_T}.$$

Требуемый коэффициент деления делителя смещения при температуре $(20 \dots 25)^\circ\text{C}$ определяется следующим образом:

$$\delta = U_{бэ0} / E_k.$$

Последовательное сопротивление делителя

$$R'_{дел} = R_1 + R_2 = \frac{R_{дел}}{\delta(1-\delta)}.$$

Сопротивление плеч делителя

$$R_1 = R'_{дел} - R_2,$$

$$R_2 = \delta R'_{дел}.$$

Сопротивления резисторов R_u и R_T в контрольной работе не определяют.

7. Расчет электрических параметров выходного трансформатора производится в соответствии со следующими выражениями.

Коэффициент трансформации по отношению к половине первичной обмотки

$$n_n = \sqrt{\frac{R_n}{\eta_T \cdot R_{\kappa-n}}}.$$

где $R_{\kappa-n} = \frac{U_{км}}{I_{\kappa\max}}$.

Активное сопротивление половины первичной обмотки

$$r_{1n} = 0,58(1-\eta_T) \cdot R_{\kappa-n}.$$

Активное сопротивление вторичной обмотки

$$r_2 = 0,42 \frac{1-\eta}{\eta_T} \cdot R_n.$$

Индуктивность первичной обмотки выходного трансформатора, Γ_n

$$L = \frac{R_{\kappa-n} - r_{1n}}{2\pi f_n \sqrt{M^2_{HL} - 1}}.$$

Задача 3

Рассчитать двухтактный бестрансформаторный оконечный каскад на составных транзисторах, включенных по схеме ОК и работающих в режиме В. Схема приведена на рис. 3.

Содержание расчетов

При решении задачи исходным является содержание расчетов (пп. 1–5) к задаче 1. Кроме того, надо определить количество диодов, сопротивление шунта R_u , сопротивление положительной обратной связи $R_{нос}$ и емкость $C_{нос}$.

Исходные данные приведены в табл. 3, в которой приняты те же обозначения, что и в табл. 1.

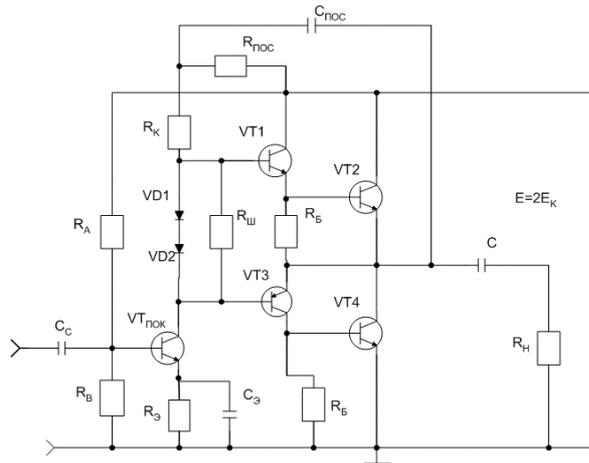


Рис. 3. Бестрансформаторный оконечный каскад на составных транзисторах

Указания

Весь расчет каскада ведется на одно плечо.

1. Расчет режима работы транзисторов по выходной цепи выполняется с учетом того, что максимальный импульс тока в эмиттерной цепи транзистора *VT2* будет

$$I_{э2\max} = I_{к2\max} = U_{2кн} / R_n,$$

где $U_{2кн} = \sqrt{2P_2R_n}$ – амплитуда выходного (коллекторного) напряжения.

2. Напряжение между коллектором и эмиттером в исходной рабочей точке определяется по выражению

$$U_{кэ0} = U_{ост} + U_{2кн},$$

где $U_{ост}$ – остаточное напряжение, отсекающее слева на выходной статической характеристике транзистора область больших нелинейных искажений.

3. Напряжение источника питания рассчитывается следующим образом:

$$E = 2E_k, \text{ причем } E_k = 1,2U_{кэ0}.$$

4. Ток покоя в исходной рабочей точке определяется как $I_{к0} = (0,03...0,05)I_{к2\max}$.

5. Требуемая амплитуда входного напряжения одного плеча $U_{вхн} = U_{вхнVT1}$ рассчитывается по методике, изложенной в работе [3], с. 10–13, рис. 3

$$R_{э3} = 0, \text{ а } R_{э1} = R_{к3} = R_б.$$

Расчет по входной цепи ведется с использованием входных характеристик транзисторов *VT1* и *VT2*.

Таблица 3

Варианты	Тип транзистора			P ₂ , Вт	R _{н2} , Ом	f _{н2} , Гц	M _{пс}
	VT2, VT4	VT1	VT3				
60	КТ815	КТ503	КТ502	1,2	10	50	1,07
61	КТ815	КТ503	КТ502	2,0	16	80	1,03
62	КТ815	КТ503	КТ502	1,7	12	70	1,04
63	КТ815	КТ503	КТ502	0,9	8	60	1,05
64	КТ815	КТ503	КТ502	2,5	6	55	0,6
65	КТ815	КТ503	КТ502	3,5	10	70	1,04
66	КТ815	КТ503	КТ502	3,0	12	80	1,03
67	КТ815	КТ503	КТ502	2,6	8	60	1,07

68	КТ817	КТ815	КТ814	10	8	60	1,08
69	КТ817	КТ815	КТ814	12	6	40	1,12
70	КТ815	КТ503	КТ502	4,5	8	60	1,08
71	КТ815	КТ503	КТ502	4,0	12	70	1,06
72	КТ815	КТ503	КТ502	5,0	10	50	1,12
73	КТ815	КТ503	КТ502	5,5	8	80	1,04
74	КТ817	КТ815	КТ814	11	10	40	1,12
75	КТ817	КТ815	КТ814	8,5	12	60	1,06
76	КТ817	КТ815	КТ814	13	8	70	1,07
77	КТ817	КТ815	КТ814	15	12	50	1,09
78	КТ817	КТ815	КТ814	16	10	70	1,07
79	КТ817	КТ815	КТ814	17	6	80	1,04
80	КТ817	КТ815	КТ814	18	4	60	1,06
81	КТ817	КТ815	КТ814	20	4	50	1,07
82	КТ817	КТ815	КТ814	21	8	40	1,11
83	КТ817	КТ815	КТ814	23	6	60	1,07
84	КТ817	КТ815	КТ814	24	4	70	1,06
85	КТ817	КТ815	КТ814	25	8	80	1,04
86	КТ815	КТ503	КТ502	1,5	8	60	1,07
87	КТ815	КТ503	КТ502	1,08	12	41	1,12
88	КТ815	КТ503	КТ502	1,9	10	70	1,08
89	КТ817	КТ815	КТ814	26	8	80	1,04
90	КТ817	КТ815	КТ814	27	7	70	1,08
91	КТ817	КТ815	КТ814	28	6	60	1,06
92	КТ817	КТ815	КТ814	29	5	50	1,05
93	КТ817	КТ815	КТ814	30	4	40	1,06
94	КТ817	КТ815	КТ814	32	6	80	1,08
95	КТ819	КТ818	КТ814	35	6	40	1,12
96	КТ819	КТ818	КТ814	37	5	60	1,09
97	КТ819	КТ818	КТ814	40	4	70	1,08
98	КТ819	КТ818	КТ814	44	7	80	1,07
99	КТ819	КТ818	КТ814	48	6	50	1,06

6. Входное сопротивление плеча и требуемый коэффициент усиления каскада по напряжению определяются по формулам, приведенным в [3], с. 12.

7. Входная мощность и коэффициент усиления каскада по мощности рассчитываются в соответствии с [3], с. 12.

8. Коэффициент полезного действия каскада определяется как

$$\eta = P_2 / P_0,$$

где $P_0 = 2I_{ксп} = 0,32(I_{к2\max} + I_{к0}(\pi - 1))$.

9. Сопротивления резисторов R_σ в цепях базы мощных транзисторов VT2 и VT4 рассчитываются следующим образом:

$$R_\sigma = (5...10)R_{\text{exVT2}},$$

где $R_{\text{exVT2}} = U_{\text{ом}} / I_{\text{ом2}}$ определяется по входной характеристике для транзистора VT2.

10. Сопротивление резистора положительной обратной связи вычисляется по формуле $R_{\text{noc}} = (10...15)R_n$.

11. Требуемое количество диодов определяется как

$$n = U_{gn} / U_{g0},$$

где $U_{gn} = U_{\delta\alpha01} + U_{\delta\alpha02} + U_{\delta\alpha03}$, причем $U_{\delta\alpha01} = U_{\delta\alpha03}$, $U_{go} = 0,5...0,6B$, – прямое напряжение на одном диоде.

12. Сопротивление резистора шунта определяется по выражению

$$R_{ш} = U_{gn} / 0,3I_{к0пок},$$

где $I_{к0пок}$ – ток покоя транзистора предоконечного каскада $VT_{пок}$, причем $I_{к0пок} \approx 1,2I_{\beta m1}$.

13. Величина емкости конденсатора положительной обратной связи рассчитывается в соответствии с выражением

$$C_{noc} = \frac{10^6}{2\pi f_n R_{noc} \sqrt{\frac{1}{y_{cnoc}^2} - 1}} [мкФ],$$

где $y_{cnoc} = 10^{\frac{Y_{cnoc}}{20}}$, а $Y_{cnoc} = -(0,2...0,5)дБ$.

14. Емкость накопительного конденсатора измеряется в мкФ и определяется на основании допустимых изменений питающего напряжения, и из допустимых частотных искажений. Выбирается наибольшее значение.

$$C = \frac{I_{к2max}}{2\pi f_n \Delta E_k} \cdot 10^6,$$

где $\Delta E_k = 0,1...0,2$.

$$C = \frac{10^6}{2\pi \cdot f_n \cdot (R_{выхVT2} + R_n) \sqrt{M_{nc}^2 - 1}},$$

где $R_{выхVT2}$ – выходное сопротивление транзистора Т2, определенное графически по выходным статическим характеристикам в точке, соответствующей середине поля характеристик:

$$R_{выхVT2} = \frac{\Delta u_{кэ2}}{\Delta i_{к2}} \Big|_{i_{б2}=const}.$$

6. Задание на курсовой проект

Задания на курсовой проект в принципиальном отношении делятся на четыре группы и представляют собой расчет микрофонного усилителя (МУ) для информационных передач; усилителя электрофона (ЭФ), используемого в простейшей установке, служащей для проигрывания грампластинок; усилителя для звукофикации (ЗФ), представляющего собой стационарное устройство относительно небольшой мощности, получающее программу по соединительной линии и питающее распределительную сеть проводного вещания; усилителя низкой частоты радиовещательного приемника (Пр).

Варианты заданий приведены в табл. 4. Задания выбираются по двум последним цифрам шифра студента. В таблице 4 приняты следующие обозначения:

P_2 – мощность, выделяемая в нагрузке; R_n – сопротивление нагрузки; $m=R_{n\max}/R_{n\min}$ – коэффициент изменения нагрузки; $y'=K'_{\max}/K'_{\min}$ – коэффициент нестабильности усиления при наличии обратной связи; f_n, f_b – соответственно нижняя и верхняя частоты диапазона; T_{\max}, T_{\min} – максимальная и минимальная температуры окружающей среды; K'_r – коэффициент гармоник усилителя с учетом действия общей отрицательной обратной связи (ООС); Y'_n – допустимый спад частотной характеристики в области нижних частот с учетом действия общей ООС; Y'_b – допустимый спад частотной характеристики в области верхних частот с учетом действия общей ООС; $R_{ист}$ – выходное сопротивление источника сигналов (микрофона, звукоснимателя, соединительной линии или детектора приемника); $E_{ист}$ – эффективное значение ЭДС источника сигналов; $H_{ш}$ – допустимый уровень шумов.

При расчете курсовой и контрольной работ использовать методические указания, изложенные в [3].

Таблица 4

Вариант	P_2 Вт	R_n Ом	m	y'	f_n Гц	f_b Гц	T_{\max} °С	T_{\min} °С	K'_r %	Y'_n дБ	Y'_b дБ	$R_{ист}$ Ом	$E_{ист}$ мВ	Назначение усилителя	$H_{ш}$ дБ
00	5,5	70			70	8000	+30	+5	3,0	-1,5	-1,0	250	2,0	Му	60
01	6,0	8			80	800	+35	0	2,5	-1,0	-1,0	600	4	Му	50
02	7,0	12			80	7000	+25	0	2,0	-1,5	-1,5	250	5,0	Му	60
03	0,8	10			80	8000	+30	0	3,0	-1,5	-1,0	44000	25	Пр	
04	6,6	8			60	8000	+40	+10	2,5	-1,5	-1,0	3000	70	Эф	
05	1,5	12			80	9000	+35	+5	3,0	-2,5	-1,5	40000	30	Пр	
06	2,5	10			70	7000	+30	0	3,5	-2,0	-1,5	500	50	Му	50
07	1,0	14			65	8000	+25	-5	3,0	-1,5	-1,0	53000	40	Пр	
08	0,4	17			80	8000	+30	-2	2,0	-2,5	-1,5	52000	30	Пр	
09	4,2	5	4,0	1,1	70	8000	+35	-5	3,5	1,5	-1,0	600	80	Зф	
10	1,2	9			100	6000	+30	-5	3,0	-1,0	-1,0	68000	35	Пр	
11	1,3	11			70	7000	+25	-5	2,5	-1,5	-0,5	55000	40	Пр	
12	8,4	4			80	8000	+30	0	3,0	-2,0	-1,5	2000	80	Эф	
13	1,3	6			70	7000	+35	-2	3,0	-1,5	-0,5	1500	100	Эф	
14	0,95	5			60	8000	+30	0	2,5	-2,0	-1,5	66000	35	Пр	
15	2,5	12			80	7000	+25	-5	3,0	-2,5	-1,5	700	4,0	Му	50
16	4,5	6			70	8000	+40	-10	2,5	-2,0	-1,0	500	3,0	Му	60
17	4,0	7			80	8000	+30	-5	2,0	-2,0	-1,0	250	2,0	Му	45
18	4,0	10			80	7000	+35	0	2,5	-1,5	-1,0	400	3,0	Му	60
19	3,0	8			70	8000	+30	0	3,0	-2,0	-1,5	500	4,0	Му	55
20	3,0	10			80	7000	+35	-5	3,5	-2,0	-1,0	600	5,0	Му	50
21	5,0	10			70	6000	+25	-10	3,0	-1,0	-1,0	800	3,0	Му	60
22	4,0	12			70	8000	+30	-5	3,5	-1,5	-1,0	1000	2,0	Му	50
23	1,6	20			70	7000	+35	0	3,0	-2,0	-1,5	51000	50	Пр	
24	0,9	15			60	9000	+25	-5	2,5	-1,5	-1,0	67000	40	Пр	
25	5,5	10			70	7000	+35	-5	3,5	-2,0	-2,0	600	40	Эф	
26	40	6	4	1,1	80	8000	+30	-10	3,0	-2,5	-1,5	15000	70	Зф	
27	5,0	8			60	8000	+25	-5	3,0	-2,0	-1,0	2000	80	Эф	
28	6,0	8			80	7000	+30	-5	2,5	-2,5	-1,5	1000	60	Эф	
29	0,5	6			70	60	+40	0	3,0	-1,5	-1,0	55000	40	Пр	
30	1,0	4			70	7000	+35	-5	2,0	-1,5	-1,5	56000	30	Пр	
31	0,9	10			80	8000	+28	-5	2,5	-1,0	-1,0	43000	45	Пр	

Вариант	P_2 Вт	R_H Ом	m	γ	f_H Гц	f_B Гц	T_{max} °C	T_{min} °C	K_r %	Y_H дБ	Y_B дБ	$R_{цет}$ Ом	$E_{цет}$ мВ	Назначение усилителя	H_m дБ
32	1,0	10			70	8000	+25	-10	3,0	-1,5	-1,0	40000	35	Пр	
33	0,35	10			80	8000	+30	-5	3,5	-2,0	-1,5	43000	80	Пр	
34	9,4	15			50	9000	+40	-5	2,0	-1,5	-1,0	2000	40	Эф	
35	1,45	6,0			40	9000	+40	0	2,5	-2,0	-1,5	58000	50	Пр	
36	0,65	12			60	8000	+30	-5	2,5	-1,5	-1,0	66000	35	Пр	
37	0,15	10			50	9000	+35	-5	2,0	-1,5	-1,5	44000	40	Пр	
38	5,6	15			70	7000	+30	0	2,5	-2,0	-1,5	1000	50	Эф	
39	6,3	8			60	9000	+35	-5	2,0	-1,5	-1,0	8000	60	Эф	
40	0,8	5			80	8000	+35	0	2,5	-2,0	-1,5	53000	30	Пр	
41	1,5	10			60	8000	30	-5	3,0	-1,5	-1,0	53000	45	Пр	
42	7,5	12			80	9000	+35	0	2,0	-1,0	-1,0	2000	80	Эф	
43	1,1	12			70	8000	+35	-10	3,0	-2,0	-1,5	40000	35	Пр	
44	8,2	15			60	7000	+40	-5	2,5	-2,0	-1,0	1000	65	Эф	
45	28,0	16	3	1,09	70	7000	+30	-5	3,5	-2,5	-2,0	600	80	Зф	
46	33,0	18	4	1,1	60	9000	+35	-5	2,5	-1,5	-1,0	1000	65	Зф	
47	1,5	15			80	8000	+40	0	2,5	-2,0	-1,5	40000	40	Пр	
48	0,25	20			60	7000	+30	-5	3,0	-1,5	-1,0	40000	45	Пр	
49	0,4	15			70	8000	+35	0	2,5	-2,0	-1,5	48000	40	Пр	
50	35,0	15	4	1,1	80	7000	+30	-5	2,0	-1,5	-1,0	600	40	Зф	
51	25,0	12	3	1,08	70	8000	+35	-5	2,5	-1,5	-1,5	250	30	Зф	
52	0,3	15			60	8000	+30	-5	3,0	-2,0	-1,0	58000	50	Пр	
53	0,4	10			80	9000	40	0	2,0	-1,0	-1,0	56000	50	Пр	
54	10,5	10			50	9000	+30	0	2,5	-1,5	-1,0	5000	100	Эф	
55	0,6	15			60	6000	+35	0	2,5	-1,0	-0,5	55000	40	Пр	
56	27	10	4	1,15	80	9000	+35	-5	2,5	-1,5	-1,5	600	25	Зф	
57	12,0	12			60	9000	+25	-5	2,8	-1,0	-1,0	1000	100	Эф	
58	15,0	16			50	10000	+30	-5	2,5	-1,5	-1,0	10000	50	Эф	
59	1,0	10			80	8000	+35	0	3,0	-2,5	-2,0	48000	30	Пр	
60	1,0	20			70	9000	+40	-5	3,5	-2,0	-1,5	52000	40	Пр	
61	15	10			100	10000	+35	0	3,5	-2,5	-1,5	1000	150	Эф	
62	0,2	12			80	12000	+35	-5	3,0	-2,0	-1,5	55000	25	Пр	
63	5,0	8			100	10000	+50	-5	3,0	-2,5	-2,0	3000	60	Эф	
64	10,0	16			63	12500	+35	0	2,0	-1,5	-1,5	4000	30	Эф	
65	32,0	14	3	1,1	80	7000	+35	0	2,5	-2,5	-2,0	250	25	Зф	
66	40,0	10	4	1,09	100	8000	+40	-5	3,5	-2,0	-1,5	600	35	Эф	
67	25	8	3	1,1	80	9000	+35	0	3,0	-1,5	-1,0	250	40	Зф	
68	30	6	4	1,1	70	7000	+50	-5	3,0	-1,0	-1,0	600	45	Зф	
69	35	4	3	1,1	100	10000	+35	-5	2,5	-1,5	-1,0	1000	40	Зф	
70	1,0	18			80	6000	+50	-5	3,5	-2,0	-1,5	60000	30	Пр	
71	14	12			70	7000	+35	0	3,0	-2,5	-2,0	44000	50	Пр	
72	12	10			60	8000	+40	-5	3,0	-2,0	-1,5	53000	45	Пр	
73	40,0	15	4	1,1	80	8000	+30	-5	2,5	-2,0	-1,5	250	40	Зф	
74	5,0	16			100	10000	+35	0	3,0	-2,5	-2,0	1000	50	Эф	
75	6,0	8			80	7500	+40	-5	2,0	-1,5	-1,0	500	5	Му	50
76	7,0	16			63	6500	+55	0	2,0	-1,0	-1,0	200	8	Му	40
77	8,0	16			40	10000	+35	0	2,0	-1,5	-1,0	500	40	Эф	
78	9,0	8			80	10000	+40	0	2,0	-1,0	-1,0	1000	45	Эф	
79	10	16			63	10000	+45	-5	2,0	-1,5	-1,0	3000	30	Эф	
80	11	10			50	10000	+40	0	2,5	-1,0	-0,5	8000	10	Эф	
81	12	15			60	8000	+40	-5	2,5	-1,5	-1,5	1000	20	Эф	
82	33	15	4	1,1	100	10000	+45	0	3,5	-2,0	-2,0	1000	40	Зф	
83	14	10	5	1,1	80	8000	+30	-5	3,5	-1,5	-1,0	600	30	Зф	
84	15	16			40	10000	+35	0	2,0	-1,5	-1,5	8000	100	Эф	
85	6	10			80	9000	+30	-5	2,5	-2,0	-1,5	600	40	Эф	

Вариант	P_2 Вт	R_H Ом	m	γ	f_H Гц	f_B Гц	T_{max} °C	T_{min} °C	K_{Γ} %	Y_H дБ	Y_B дБ	$R_{цет}$ Ом	$E_{цет}$ мВ	Назначение усилителя	H_m дБ
86	37	10	4	1,09	80	10000	+55	-5	3,0	-1,5	-1,0	250	45	ЗФ	
87	48	18	3	1,1	100	10000	+35	0	3,5	-2,0	-1,5	1000	30	ЗФ	
88	39	10	5	1,15	80	8000	+50	-5	3,0	-2,5	-2,0	800	35	ЗФ	
89	5	4			63	6000	+55	0	2,0	-2,0	-1,5	2000	80	ЭФ	
90	11	8			80	8000	+40	0	2,0	-1,5	-1,0	3000	90	ЭФ	
91	0,2	16			80	7000	+35	-5	2,0	-1,5	-1,0	40000	50	Пр	
92	13	8			100	10000	+50	-5	3,0	-1,0	-1,0	2000	80	ЭФ	
93	26	12	4	1,1	80	10000	+35	0	2,0	-1,5	-1,5	1000	40	ЗФ	
94	8	8			63	10000	+50	-5	2,0	-1,0	-1,0	3000	100	ЭФ	
95	30	15	4	1,1	100	10000	+45	0	3,0	-1,5	-1,0	600	40	ЗФ	
96	35	8	5	1,09	80	10000	+55	-5	2,5	-1,5	-1,0	3000	85	ЭФ	
97	44	10	3	1,05	100	10000	+45	-5	3,0	-2,0	-1,5	600	45	ЗФ	
98	44	4	5	1,1	80	10000	+40	0	3,0	-2,0	-1,5	1000	40	ЗФ	
99	48	4	3	1,1	63	8000	+40	-5	2,5	-2,0	-1,0	800	35	ЗФ	

Содержание

Предисловие	3
1. Содержание дисциплины.....	4
2. Библиографический список.....	8
3. Темы рефератов	8
4. Тестовые задания.....	8
5. Задание на контрольную работу и методические указания к ее выполнению.....	9
6. Задание на курсовой проект.....	18

Редактор М.Ю. Комарова

Сводный темплан 2004 г.

Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.97

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 78.01.07.953.П.005641.11.03 от 21.11.2003 г.

Подписано в печать

Б.кн.-журн. П.л.

Тираж

Б.л.

Формат 60x84¹/₁₆

РТП РИО СЗТУ

Заказ

Северо-Западный государственный заочный технический университет

РИО СЗТУ,

член Издательско-полиграфической ассоциации вузов

Санкт-Петербурга

191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная,