

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ
Всесоюзный ордена «Знак Почета» сельскохозяйственный
институт заочного образования

ЭЛЕКТРОНИКА

5 М

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ
И ЗАДАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

студентам-заочникам сельскохозяйственных вузов по
специальности 1510 — «Электрификация сельского
хозяйства»

Москва — 1985

Авторы

К. А. Арестов, кандидат технических наук, доцент (Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства им. академика В. П. Горячкина);

И. К. Гругляков, старший преподаватель (Всесоюзный ордена «Знак Почета» сельскохозяйственный институт заочного образования).

Рецензенты

А. Г. Рябов, кандидат технических наук (Волгоградский сельскохозяйственный институт);

В. Т. Сергованцев, доктор технических наук, профессор (Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства им. акад. В. П. Горячкина).

Одобрено и рекомендовано к изданию

кафедрой применения электрической энергии в сельском хозяйстве (зав. кафедрой кандидат технических наук К. М. Поярков) и методической комиссией (председатель комиссии профессор Г. Ф. Серый) инженерного факультета Всесоюзного сельскохозяйственного института заочного образования (протокол № 12 заседания кафедры от 26 апреля 1984 г. и протокол № 9 заседания методической комиссии от 30 мая 1984 г.).

ВВЕДЕНИЕ

В создании материально-технической базы коммунизма большая роль принадлежит техническому прогрессу, базирующемуся на новейших достижениях науки и техники, в том числе на достижениях электроники. Электроника имеет важное значение во всех отраслях народного хозяйства, в том числе и в сельском хозяйстве.

Одно из постановлений «Об улучшении управления сельским хозяйством и другими отраслями агропромышленного комплекса» предусматривает в частности: организацию разработки и практической реализации комплексных межотраслевых программ по широкому внедрению научно-технического прогресса; создание и введение принципиально новых ресурсосберегающих технологий, повышающих производительность труда и эффективность производства; создание системы информационно-вычислительного обслуживания отраслей и предприятий агропромышленного комплекса на основе единой сети ЭВМ коллективного пользования, широкого внедрения автоматизированных систем и экономико-математических методов управления. Выполнение этих пунктов постановления возможно только на базе электроники.

Электронные приборы и методы радиоэлектроники предоставляют большие возможности для автоматизации сложных, трудоемких процессов в животноводстве, растениеводстве, птицеводстве и других отраслях сельского хозяйства.

Силовая полупроводниковая электроника позволила создать ряд устройств, обеспечивающих автоматическое управление микроклиматом, автоматизацию систем электрообогрева, создание систем автоматизированного электропривода.

Применение электронно-вычислительной техники открывает большие возможности для нахождения оптимальных решений при планировании, организации и проектировании хозяйств, а также в научных и инженерных исследованиях.

Прежде чем приступить к изучению дисциплины, необходимо изучить следующие разделы курса «Теоретические основы электротехники», «Теория четырехполосников», «Переходные процессы в линейных электрических цепях».

При изучении курса «Электроника» необходимо стремиться к освоению основных понятий и явлений, положенных в основу принципа работы электронных приборов и составляющих содержание методов электроники.

Настоящее издание написано в соответствии с учебной программой курса «Электроника», утвержденной Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования МСХ СССР 20 марта 1980 года.

Студентам-заочникам сельскохозяйственных вузов по специальности 1510—«Электрификация сельского хозяйства» учебным планом, утвержденным Министерством высшего и среднего специального образования СССР 6 января 1975 г., предусмотрено 10 часов на лекции, 12 часов на лабораторно-практические работы и выполнение одной контрольной работы.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Методические советы

В разделе введение следует обратить внимание на историю изобретения радио и на связь развития электроники с историей развития электронно-вычислительной техники, роль силовой полупроводниковой электроники в системах автоматического управления сельскохозяйственными электротепловыми, осветительными, облучательными установками и в системах управления микроклиматом и установках электропривода.

Время, отведенное учебным планом на самостоятельную работу студента в объеме 100 часов, рекомендуется распределить по темам следующим образом:

Введение — 2 часа.

Тема 1. Электроракуумные и ионные приборы	— 6 часов.
Тема 2. Полупроводниковые приборы	— 14 часов.
Тема 3. Электронные усилители	— 15 часов.
Тема 4. Обратная связь	— 10 часов.
Тема 5. Генераторы	— 14 часов.
Тема 6. Преобразовательные электронные устройства	— 10 часов.
Тема 7. Импульсные устройства	— 14 часов.
Выполнение контрольной работы	— 15 часов.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Продовольственная программа СССР на период до 1990 года и меры по ее реализации. Материалы майского Пленума ЦК КПСС 1982 г. — М.: Правда, 1982.
2. Материалы апрельского Пленума ЦК КПСС 1984 года. — М.: Политиздат, 1984.
3. З. Жеребцов И. П. Основы электроники. — Л.: Энергия, 1974.

4. Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. — М.: Энергия, 1982.
5. Багушев В. А. Электронные приборы. — М.: Высшая школа, 1980.

Дополнительная

6. Будзко И. А., Бородин И. Ф. Новые элементы автоматки. — М.: Колос, 1971.
7. Ефимов И. Е. и др. Основы микроэлектроники. — М.: Высшая школа, 1983.
8. Справочник по транзисторам и интегральным микросхемам / Под ред. Н. Н. Горюнова. — М.: Атомиздат, 1983.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ РАЗДЕЛОВ КУРСА

Тема 1. Электровакуумные и ионные приборы

Методические советы

При изучении электровакуумных приборов необходимо уяснить явление термоэлектронной эмиссии катодов, роль анода, сеток и устройство электронных ламп. Чтобы составить представление о свойствах электронных ламп, следует ознакомиться с параметрами и характеристиками диодов, триодов, тетродов и пентодов. Особое внимание нужно обратить на назначение каждой сетки, а также на принцип работы лучевого тетрода.

При изучении тетрода обратить внимание на явление диатронного эффекта и методы его подавления.

При изучении простейшего усилительного каскада следует электровакуумную лампу, представить ее эквивалентной схемой, параметрами которой являются:

$C_{ск}$ — входной конденсатор сетка-катод;

S — крутизна лампы, (либо μ — коэффициент передачи по напряжению в режиме холостого хода);

R_i — внутреннее сопротивление лампы.

При изучении ионных приборов сначала следует ознакомиться с видами электрического разряда, в газах, а затем с устройством, принципом работы газотронов, тиратронов и индикаторных ламп.

Рассматривая устройство электронно-лучевых трубок, следует понять различие в устройстве осциллографических трубок с электростатическим отклонением луча и телевизионных трубок (кинескопов) с электромагнитным отклонением

ем луча. Нужно понять назначение каждого из их электродов и физические принципы работы ЭЛТ.

ЛИТЕРАТУРА: 3, гл. 3, 10, 11, 12, 14; 5, гл. 2, 3.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные направления развития электроники. Приведите примеры применения электронных приборов в народном (сельском) хозяйстве.

2. Объясните, в чем состоит явление термоэлектронной эмиссии, назначение анода, катода, управляющей, экранирующей и антидиатронной сеток.

3. Объясните, в чем заключается явление электрического разряда в газах, какие виды разрядов вы знаете и как используются они в ионных приборах.

4. Назовите области применения электровакуумных диодов, триодов, тетродов, пентодов и комбинированных ламп, а также ионных приборов.

5. Нарисуйте эквивалентную схему резистивного усилительного каскада на пентоде и объясните соответствие элементов схемы физическим элементам каскада.

Тема 2. Полупроводниковые приборы

Методические советы

Изучение полупроводниковых приборов необходимо начинать с ознакомления «собственной», «электронной» и «дырочной» проводимостей полупроводников.

Необходимо четко уяснить свойство «электронно-дырочного» перехода и его вольтамперные характеристики.

В настоящее время количество различных полупроводниковых приборов на основе одного $p-n$ перехода довольно велико, поэтому следует отдельно обратить внимание на свойства и области применения таких из них, как выпрямительные диоды, стабилитроны, фотодиоды, туннельные диоды.

Изучение транзисторов следует начинать с представления их эквивалентными физическими четырехполюсниками, к числу основных параметров которых относятся следующие:

α — коэффициент передачи эмиттерного тока;

β — коэффициент передачи базового тока;

r_z — дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода;

r_k — дифференциальное сопротивление коллекторного перехода;

r_b — объемное сопротивление базы.

Эквивалентную схему транзистора следует рассмотреть как для постоянных составляющих, так и для переменных.

Особое внимание необходимо обратить на статистические характеристики транзистора и возможность определения по ним статических и динамических параметров.

Далее следует рассмотреть свойства простейших каскадов усиления на транзисторах, выполненных по схемам ОБ, ОЭ, ОК и их свойства.

При изучении диристов и тиристоров особое внимание следует уделить их вольтамперным характеристикам и области их применения в технике.

В последние годы все более широкое применение получили полевые транзисторы. В полевых транзисторах прохождение тока осуществляется одним видом зарядов (в зависимости от вида примеси), а изменение выходного тока осуществляется под действием управляющего напряжения, аналогично электроламповым лампам. При изучении полевых транзисторов следует уяснить различие полевых транзисторов с $p-n$ переходом и с изолированным затвором.

Далее рекомендуется ознакомиться с применением полупроводниковых микроэлектронных схем, их структурой. Микроэлектронная схема представляет собой функциональный узел, выполненный на кристалле полупроводника с использованием специальной технологии. Микросхемы классифицируются по технологическим принципам их изготовления (полупроводниковые и гибридные) и по их функциональному назначению (аналоговые и цифровые).

ЛИТЕРАТУРА: 3, гл. 2, 4, 5, 6, 7; 4, гл. 1.

Вопросы для самопроверки

1. Объясните явление «собственной», «дырочной», «электронно-дырочного» переходов.

2. Назовите основные параметры и характеристики транзисторов. Объясните принцип работы диристов и тиристоров, назовите области их применения.

3. Объясните явление лавинного пробоя $p-n$ перехода.

4. Какие параметры входят в физическую эквивалентную схему транзистора?

5. Какими параметрами характеризуются полевые транзисторы?

Тема 3. Электронные усилители

Методические советы

Прежде чем переходить к ознакомлению с техникой усиления электромагнитных колебаний, следует знать логарифмические единицы измерения (непер и децибел). Затем нужно уяснить классификацию и характеристики усилителей, виды, а также природу искажений и ознакомиться с принципами, положенными в основу применения различных классов усиления (А, В, С).

Изучение принципов работы усилителей следует проводить с заменой активных элементов (электровакуумных ламп, транзисторов) их эквивалентными схемами.

Особое внимание следует уделить вопросам температурной стабилизации транзисторных каскадов, т. к. многие из параметров транзисторов являются функциями температуры.

После этого нетрудно будет понять основные преимущества и недостатки усилителей частоты на резисторах, дросселях и трансформаторах, свойства усилителей напряжения высокой частоты, усилителей мощности и усилителей постоянного тока, а также специальных усилителей (широкополосных, импульсных). Необходимо уяснить роль и принципы осуществления обратной связи в усилителях.

Следует понять принцип работы различных видов однокаскадных усилителей напряжения на транзисторах, а также многокаскадных усилителей и усилителей мощности.

ЛИТЕРАТУРА: 2, гл. 6, 11; 3, гл. 13; 5, гл. 6.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите классификацию усилителей по полосе пропускания.

2. Какими элементами схемы усилителя на резисторах определяется верхняя и нижняя частота пропускания?

3. Какие классы усиления вам известны и в чем их смысл?

4. Нарисуйте транзисторную схему усилителя низкой частоты на трансформаторе и объясните назначение трансформатора.

5. Какие усилители высокой частоты вам известны? Где применяются такие усилители?

6. В чем состоит принцип согласования нагрузок и как он используется в усилителях мощности?

7. Нарисуйте транзисторную схему реверсивного усилителя мощности. Объясните, в чем его преимущество перед нереверсивными усилителями мощности.

8. С какой целью в усилительных каскадах применяется местная отрицательная обратная связь по постоянному току либо по напряжению?

Тема 4. Обратная связь

Методические советы

Существуют разнообразные виды обратных связей. Прежде чем приступить к изучению конкретных видов обратной связи, необходимо ознакомиться с общей структурой систем обратной связи, назначением канала прямой передачи (КПП) и каналом обратной передачи (КОП) и их отличительными особенностями. Уяснить различие между регенеративным и дегенеративным характером обратной связи. Необходимо усвоить назначение и способы осуществления обратной связи, изучить блок-схемы усилителей с различными видами обратных связей и их классификацию.

При изучении схем усилителей с обратной связью обратить внимание на изменение их амплитудно-частотных характеристик, входных и выходных параметров. Уяснить причины возникновения паразитных обратных связей и методов их подавления.

ЛИТЕРАТУРА: 4, гл. 8; 5, гл. 6.

Вопросы для самопроверки

1. По какому признаку обратная связь классифицируется как отрицательная или положительная?

2. В чем состоит назначение отрицательной обратной связи в электронных усилителях и какие их параметры она изменяет?

3. Нарисуйте способы осуществления обратной связи в усилителях на лампах и транзисторах.

4. Какие виды обратных связей вы знаете?

Тема 5. Генераторы

Методические советы

Прежде чем приступить к изучению конкретных схем автогенераторов, необходимо усвоить принцип их работы как усилительных устройств с положительной обратной связью. Важно усвоить назначение и способы осуществления обратной связи, а также условия самовозбуждения.

При изучении генераторов пилообразных колебаний следует обратить внимание на способы формирования пилообразных напряжений и тока, а также на возможность применения в качестве ключевых элементов современных полупроводниковых приборов с отрицательным сопротивлением (диоды, тиристоры, однопереходные транзисторы) и их аналоги. При анализе работы мультивибратора следует обратить внимание на способы осуществления регулирования частоты и скважности выходного напряжения.

ЛИТЕРАТУРА: 4, гл. 17, 18, 19, 20; 5, гл. 7.

Вопросы для самопроверки

1. Какой принцип положен в основу работы автогенераторов электромагнитных колебаний?

2. Значения каких параметров определяют частоту колебаний на выходе R, C генератора синусоидальных колебаний?

3. Каковы условия самовозбуждения генераторов?

4. Нарисуйте способы осуществления обратной связи в R, C и L, C генераторах синусоидальных колебаний.

5. На каком принципе основана работа генераторов пилообразного напряжения и тока?

6. Объясните принцип регулирования частоты и скважности импульсов на выходе мультивибратора.

Тема 6. Преобразовательные электронные устройства

Методические советы

Перед изучением конкретных устройств электропитания целесообразно ознакомиться со сравнительными характеристиками различных преобразователей, уяснить перспективность или неперспективность применения того или иного вида преобразователя. Необходимо ясно представлять процесс

преобразования переменного напряжения в постоянное, применяемые для этой схемы и их эффективность при использовании сглаживающих фильтров и без них. При изучении вибропреобразователей, полупроводниковых преобразователей и термогенераторов необходимо усвоить принцип их работы.

ЛИТЕРАТУРА: 4, гл. 21, 22; 5, гл. 8.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите источники электронитания электронных устройств и причины применения преобразователей тока.
2. Нарисуйте принципиальную электрическую схему преобразователя напряжения на транзисторах (реверсивного генератора) и объясните принцип его работы.
3. Назовите типы сглаживающих фильтров, применяемых в выпрямительных устройствах.
4. На каком принципе основана работа вибрационных и полупроводниковых преобразователей?
5. Назовите назначение и типы опорных элементов, применяемых в стабилизаторах напряжения.

Тема 7. Импульсные устройства

Изучение импульсных устройств следует начать с рассмотрения видов и параметров электрических импульсных сигналов, а также методов их анализа. Затем следует изучить виды импульсных цепей: линейные, нелинейные, дифференцирующие, интегрирующие. Одним из основных элементов импульсных цепей является ключ, нужно подробно изучить принцип его работы (режимы отсечки, насыщения, нормальный активный режим, инверсный активный режим). На базе импульсных устройств реализуются такие электронные устройства, как триггера, мультивибраторы, блокинг-генераторы. Следует изучить их структуру и принцип работы.

ЛИТЕРАТУРА: 4, гл. 14, 15, 16.

Вопросы для самопроверки

1. Объясните принцип работы транзисторного ключа в различных режимах работы.

2. На каком принципе построена работа автоколебательного мультивибратора?
3. Назовите типы нелинейных цепей, применяемых в импульсных устройствах.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

В настоящее время одним из основных элементов различных устройств автоматики, измерительной техники, устройств автоматического регулирования и управления является усилитель электромагнитных колебаний.

Овладение методикой расчета усилительного каскада позволит глубже понять принципы работы различных электронных устройств и методик их расчетов. Задачей данной контрольной работы является овладение методикой расчета усилительного каскада на транзисторе по постоянному и переменному току с учетом температурной стабилизации режима работы транзистора.

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

1. Изучить соответствующие разделы курса и разобраться в порядке и методе решения задачи.
2. Решение должно сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями.
3. Текст, формулы и числовые выкладки должны быть написаны чернилами четко и аккуратно.
4. Работа выполняется чернилами с оставлением полей для замечаний рецензента.
5. Схемы и другой графический материал выполняются на миллиметровой бумаге, которые вклеиваются в тетрадь.
6. На первую страницу контрольной работы должно быть вклеено индивидуальное задание. Без этого контрольная работа не зачитывается.

Бланк индивидуального задания помещен в конце методических указаний.

На бланке индивидуального задания указываются: фамилия, инициалы студента, его шифр, дата выдачи и подпись выдавшего задание.

Индивидуальное задание студент должен вклеить в свою контрольную работу, без него контрольная работа не зачитывается.

Исходные данные для выполнения контрольной работы выдаются преподавателем кафедры.

В связи с тем, что методические указания рассчитаны на 4 года каждый студент должен использовать только один лист индивидуального задания.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЧЕТВЕРТОГО КУРСА

Содержание задания

Для усилительного каскада на транзисторе, включенном по схеме (рис. 1) с общим эмиттером, требуется определить:

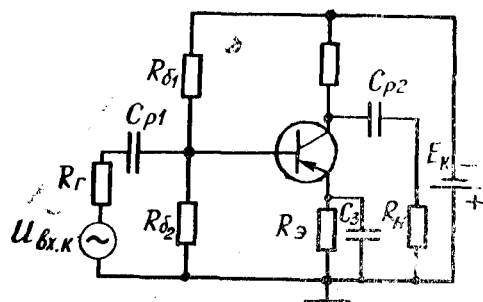


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема усилительного каскада по схеме с общим эмиттером.

1. Номиналы элементов R, C .
2. h — параметры в рабочей точке.
3. $R_{вх.к}$ — входное сопротивление каскада.
4. $R_{вых.к}$ — выходное сопротивление каскада.
5. $K_{ик}$ — коэффициент передачи (усиления) напряжения входного сигнала, приложенного ко входу транзистора.
6. $K'_{ик}$ — коэффициент передачи (усиления) по напряжению сигнала, приложенного ко входу каскада.
7. $K_{ик}$ — коэффициент передачи (усиления) каскада по входному току сигнала через базу транзистора.
8. $K'_{ик}$ — коэффициент передачи (усиления) по входному току каскада.
9. $K_{рк}$ — коэффициент передачи (усиления) по мощности сигнала на входе каскада.
10. f_v — крайнее верхнее значение усиливаемой полосы частот.

11. $f_{ш}$ — предельная рабочая частота по шуму.
12. $K_{ш}$ — коэффициент шума на средних частотах.

Исходными данными к расчету служат:

- $U_{вх.к}$ — амплитуда напряжения на входе каскада;
- R_g — сопротивление источника сигнала;
- R_H — сопротивление нагрузки;
- f_n — крайнее нижнее значение усиливаемой полосы частот;
- M_n, M_v — допустимые частотные искажения на нижней и верхней граничных частотах;
- $T^{\circ}K_{мин}, T^{\circ}K_{макс}$ — крайние значения рабочих температур;
- E_K — напряжение источника питания;
- ΔI_K — относительное отклонение тока коллектора;
- I_K — ток коллектора.

Тип транзистора, его параметры, входные и выходные вольтамперные характеристики приведены в приложении.

Методика расчета усилительного каскада на транзисторе.

Одним из основных этапов расчета усилительного каскада является выбор исходного режима работы транзистора и его стабилизация. В режиме покоя усилительного каскада, когда нет сигнала, нужно правильно выбрать рабочую точку транзистора, т. е. значение тока покоя I_K и напряжения покоя U_K . Стабилизация положения рабочей точки является основным условием обеспечения нормальной работы каскада и его высоких качественных показателей. В отличие от электронной лампы, транзистор часто не может нормально работать в схемах со слабой стабилизацией режима. Режим работы транзистора выбирается по семействам входных и выходных характеристик. Он определяется назначением каскада, требованием к его КПД, нелинейным искажением и т. д. Рабочая точка выбирается с учетом того, чтобы значения напряжений и токов транзистора не превышали максимально допустимых напряжений на коллекторе $U_{кmax}$ и тока $I_{кmax}$, а также мощности рассеяния на коллекторе $P_{кmax}$.

В режиме усиления класса А выбор рабочей точки определяется величиной максимального выходного напряжения каскада.

В каскадах предварительного усиления, где амплитуды сигнала невелики, рабочую точку можно выбирать таким об-

разом, чтобы получить желаемые величины параметров транзистора и всего усиления. После того, как рабочая точка выбрана, нужно обеспечить ее в реальной схеме с помощью источников питания, смещения и режимных резисторов. Такие расчеты можно выполнить аналитически. Поскольку наибольшее распространение имеют каскады, в которых транзистор работает по схеме с общим эмиттером, возьмем эквивалентную схему на рис. 2.

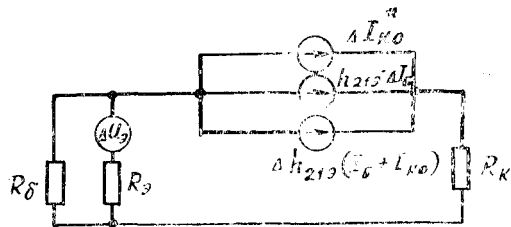


Рис. 2. Эквивалентная схема усилительного каскада для приращений.

С методической точки зрения и с точки зрения получения правильных результатов, расчет усилительного каскада следует проводить с помощью аналитических формул в сочетании с графическими построениями на входных и выходных характеристиках транзистора. Расчет проводится в несколько этапов.

1. Расчет режима усилительного каскада по постоянному току. На этом этапе находятся примерные значения сопротивлений резисторов и определяются значения h — параметров. Строится нагрузочная прямая по постоянному току и выбирается рабочая точка.

2. Производится расчет элементов схемы, обеспечивающих стабильность рабочей точки.

3. Расчет режима усилительного каскада по переменному току. Строится нагрузочная прямая по переменному току. Определяется размах амплитуд по току и напряжению на входе и выходе каскада. Определяются параметры:

$$K_{ик}, K_{кк}, K_{рк}, R_{вык}, R_{вкк}.$$

4. Рассчитывается частотная характеристика каскада. Определяются значения емкостей конденсаторов схемы и верхней граничной частоты усиливаемой полосы f_v .

5. Рассчитывается коэффициент шума и предельная частота по шуму.

Пример расчета

Расчет однокаскадного усилителя по схеме, с ОЭ. Исходные данные для расчета:

$$U_{вкк} = 0,5 \text{ В}; R_r = 1 \text{ кОм}; R_n = 0,1 \text{ кОм}; f_n = 100 \text{ Гц};$$

$$M_n = M_v = 0,7; T^\circ K_{мин} = 233^\circ \text{К}; T^\circ K_{мак} = 313^\circ \text{К};$$

$$E_k = 10 \text{ В}; \text{ относительное изменение тока коллектора } \frac{\Delta I_k}{I_k} = 0,3. \text{ Тип транзистора — ГТ 308Б.}$$

1. Расчет режима по постоянному току

Определяем значение сопротивления резистора R_k . Обычно R_k находят из неравенства $K_R \geq 1 + \frac{R_n}{R_k}$,

где K_R — коэффициент, учитывающий соотношение сопротивлений резистора R_k и нагрузки R_n .

$$K_R = (1,2 - 1,5) \text{ — для низкоомной нагрузки } (R_n \leq 1 \text{ кОм}),$$

$$K_R = (1,5 - 5,0) \text{ — для высокоомной нагрузки } (R_n > 1 \text{ кОм}).$$

Из исходных данных $R_n = 0,1 \text{ кОм}$, поэтому можно взять значение $R_k = 0,2 \text{ кОм}$.

Определяем значение сопротивления резистора.

$$R_э \text{ определим из условия } R_э = (0,1 - 0,5) R_k.$$

Чем больше значение $R_э$, тем глубже отрицательная обратная связь по постоянному току и, следовательно, термостабильность схемы будет лучше. Учитывая, что относительное отклонение тока коллектора должно быть сравнительно небольшим в заданном диапазоне температур $\pm 40^\circ \text{К}$, возьмем $R_э = 0,5 R_k = 0,1 \text{ кОм}$.

На выходных характеристиках рисунка 3 по двум точкам строим нагрузочную прямую:

$$1\text{-я точка — } I_k = 0; U_{кэ} = E_k = 10 \text{ В}$$

$$2\text{-я точка — } I_k = \frac{E_k}{R_э + R_k} - U_{кэ} = 0; I_k = \frac{10}{0,1 + 0,2} = 33 \text{ мА.}$$

Для режима класса А рабочую точку необходимо выбрать так, чтобы крайние отклонения рабочей точки не заходили в область отсечки или в область нелинейной части

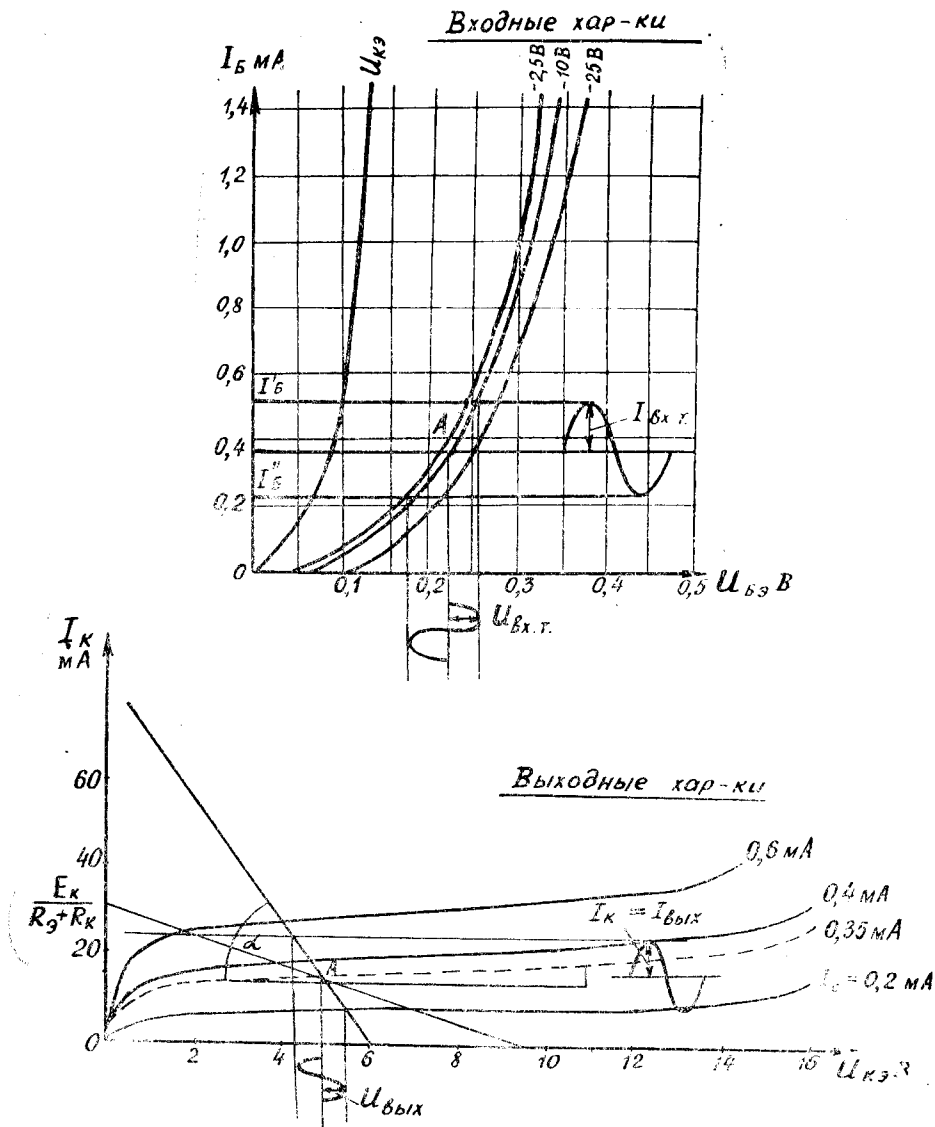


Рис. 3. Входные и выходные характеристики транзистора.

вольт-амперной характеристики. Поэтому выбираем положение рабочей точки посередине нагрузочной прямой.

Для точки покоя А получим:

$$U_{кэ} = 5 \text{ В}; I_{к} = 15 \text{ мА.}$$

Определим мощность рассеивания на коллекторе транзистора $P_{к}$:

$$P_{к} = U_{кэ} \cdot I_{к} \quad P_{к} = 5 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 75 \cdot 10^{-3} \text{ Вт.}$$

Следовательно, по мощности рассеивания на коллекторе режим допустим.

Определим ток базы в рабочей точке:

$I_{б} = 300 \text{ мкА}$ — из выходных характеристик.

Имея значение $U_{кэ} = 5 \text{ В}$ и $I_{б} = 300 \text{ мкА}$, найдем рабочую точку на входных характеристиках. В области рабочей точки с помощью характеристических треугольников по выходным и входным характеристикам определяются значения $h_{э}$ параметров (см. рис. 3).

На рисунке 3 недостающие характеристики пунктирными кривыми наносятся от руки. Значения токов базы и напряжений на коллекторе недостающих выходных и входных характеристик задаются усредненными по соседним сверху вниз, слева и справа характеристикам. В результате имеем значения $h_{э}$ — параметров в рабочей точке при включении транзистора по схеме с ОЭ:

$h_{11э}$ — входное сопротивление транзистора

$$h_{11э} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_{б}} = \frac{0,018}{0,095} = 0,2 \text{ кОм}$$

$h_{12э}$ — коэффициент обратной связи по напряжению транзистора

$$h_{12э} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta U_{кэ}} = \frac{0,018}{22,5} = 0,8 \cdot 10^{-3}$$

$h_{22э}$ — выходная проводимость транзистора

$$h_{22э} = \frac{\Delta I_{к}}{\Delta U_{кэ}} = \frac{3,5}{8} = 0,43 \text{ мСм}$$

$h_{21э}$ — коэффициент передачи тока транзистора

$$h_{21э} = \frac{\Delta I_{к}}{\Delta I_{б}} = \frac{3,5}{0,05} = 70$$

Определение параметров Т-образной эквивалентной схемы (рис. 4) произведем через таблицу пересвода приложения по имеющимся $h_{э}$ — параметрам:

- r_k — сопротивление коллекторного перехода;
- $r_э$ — сопротивление эмиттерного перехода;
- $r_б$ — сопротивление базы; для дрейфового транзистора $r_б = r_б'$ т. е. равно распределенному сопротивлению базы.

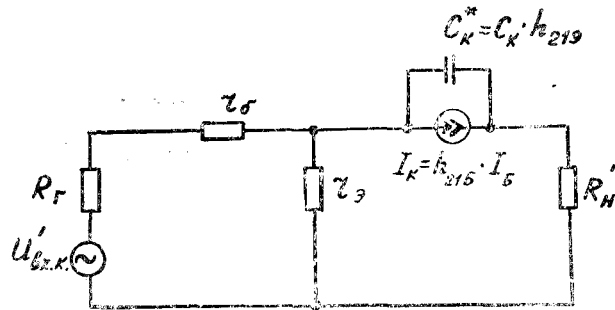


Рис. 4. Эквивалентная схема усилительного каскада на высоких частотах.

Из таблицы приложения имеем формулы:

$$r_k = \frac{h_{э21э} + 1}{h_{ээ}} = \frac{70 + 1}{0,43 \cdot 10^{-3}} = 0,18 \cdot 10^6 \text{ Ом}$$

$$r_э = \frac{h_{э2э}}{h_{ээ}} = \frac{0,8 \cdot 10^{-3}}{0,43 \cdot 10^{-3}} = 2,0 \text{ Ом}$$

$$r_б = r_б' = h_{э1э} \cdot \frac{h_{э2э}(1 + h_{э1э})}{h_{ээ}} = 200 \cdot \frac{0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 71}{0,43 \cdot 10^{-3}} = 60 \text{ Ом.}$$

Сопротивление $r_б$ можно определить для типового режима по имеющимся значениям емкости коллекторного перехода C_k и постоянной времени цепи обратной связи $\tau_k = C_k \cdot r_б$. По справочным данным имеем $\tau_k = 400$ пс $C_k = 8$ пФ. Подставив эти значения в формулу для $r_б$, получим:

$$r_б = \frac{\tau_k}{C_k} = \frac{400}{8} = 50 \text{ Ом.}$$

В обоих случаях значения $r_б$ мало отличаются друг от друга, что подтверждает практическую достоверность полученных значений $h_{э}$ — параметров.

Критерием для выбора остальных величин является обеспечение соответствующей стабильности рабочей точки. Как известно, специфической особенностью транзистора является сильная зависимость его параметров от температуры и режима работы. Всякое смещение рабочей точки, характеризуемое приращениями $\Delta I_{кэ}$ и $\Delta U_{кэ} = \Delta I_{кэ} \cdot R_k$, вызывает изменение дифференциальных параметров транзистора. Если смещение точки А обусловлено изменением температуры, получается так называемая косвенная зависимость параметров от температуры. Большие смещения $\Delta I_{кэ}$ и $U_{кэ}$ могут привести к существенным нелинейным искажениям и даже к частичной или полной отсечке сигнала.

На рабочий ток транзистора, а значит, на стабильность рабочей точки влияют следующие основные причины: тепловой ток $I_{к0}$, напряжение на эмиттерном переходе и интегральный коэффициент передачи тока β . Все они зависят от температуры и режима работы транзистора.

Рассмотрим полное приращение коллекторного тока в зависимости от изменения режимных параметров

$$\Delta I_k = \Delta I_б \cdot \beta + (1 + \beta) \cdot \Delta I_{к0} + \Delta \beta (I_{к0} + I_б).$$

Подставим в данное выражение приращение тока базы $\Delta I_б$. Изменение тока базы обусловлено изменением напряжения и отклонения приращения тока коллектора в цепь базы.

$$\Delta I_б = \frac{\Delta U_{эб}}{R_{эб}} - \frac{R_э}{R_{эб}} \cdot \Delta I_k,$$

где $R_{эб}$ сопротивление цепи между эмиттером и базой.

Обозначим $\gamma_б = \frac{R_э}{R_э + R_б}$ коэффициент токораспределения, показывающий какая часть коллекторного тока ответвляется в цепь базы. Подставим выражение для $\Delta I_б$ в уравнение ΔI_k и режим его относительно. Получим:

$$\Delta I_k = \frac{\beta}{1 + \beta \gamma_б} \left[\frac{\Delta I_{к0}}{\alpha} - \frac{\Delta U_{эб}}{R_{эб}} + (I_б + I_{к0}) \cdot \frac{\Delta \beta}{\beta} \right],$$

где β — коэффициент усиления транзистора в схеме с ОЭ;

α — коэффициент усиления транзистора в схеме с ОБ.

$$\alpha = \frac{h_{21э}}{1 + h_{21э}} = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

Учитывая, что $I_6 + I_{к0} = \frac{I_3}{(1 + \beta)}$,

полное приращение можно записать в виде:

$$\Delta I_{к} = \frac{\beta}{1 + \beta \gamma_6} \left(\Delta I_{к0} + \frac{\Delta U_{эб}}{R_{эб}} + \frac{I_3}{1 + \beta} \frac{\Delta \beta}{\beta} \right)$$

Величина, вынесенная за скобки, носит название коэффициента нестабильности и обозначается буквой S .

$$S = \frac{\beta}{1 + \beta \gamma_6}$$

Как видно из выражения, S в общем случае не зависит от температуры и режима работы транзистора, а определяется соотношением величин режимных резисторов R_3 и R_6 , так как

$$\gamma_6 = \frac{R_3}{R_3 + R_6}$$

При изменении γ_6 от 0 ($R_6 = \infty$, $R_3 \neq \infty$) до 1 ($R_3 = \infty$, $R_6 \neq \infty$), коэффициент нестабильности S изменяется в пределах

$$S_{\min} = \alpha; S_{\max} = \beta$$

Следовательно, для получения максимальной стабильности нужно стремиться к выполнению условия $\gamma_6 \simeq 1$ или вытекающего из него неравенства

$$R_3 \gg R_6$$

Однако выполнение этого неравенства далеко не всегда возможно и целесообразно.

До сих пор мы использовали приращения $\Delta I_{к0}$, $\Delta U_{эб}$, $\Delta \beta$, не оговаривая, какими причинами они обусловлены. На практике, с достаточной степенью точности можно принять следующие допущения — $\Delta I_{к0}$ и $\Delta U_{эб}$, которые зависят только от температуры и определяются зависимостями

$$\Delta I_{к0} = I_{к0}^{\circ} 2^{\frac{T - T_0}{10}} - I_{к0}^{\circ}$$

для германиевых транзисторов, и $\Delta I_{к0}^{\circ} = I_{к0} 2^{\frac{T - T_0}{5}} = I_{к0}^{\circ}$ для кремниевых транзисторов.

$I_{к0}^{\circ}$ — это обратный ток коллекторного перехода при температуре $T_0^{\circ} \text{K}$.

Например, если в германиевом транзисторе $I_{к0}^{\circ} = 2 \text{ мкА}$ при $T_0 = 293^{\circ} \text{K}$, то при температуре $T = 333^{\circ} \text{K}$ (60°C).

$$\Delta I_{к0} = 2 \cdot 2^{\frac{333 - 293}{10}} - 2 = 32 - 2 = 30 \text{ мкА}$$

Изменение напряжения на эмиттерно-базовом переходе определяется выражением

$$\Delta U_{эб} = \gamma_t \cdot \Delta T,$$

где γ_t — коэффициент теплового смещения напряжения базы. В общем случае γ_t зависит от температуры и исходного смещения на базе, но для упрощения расчетов считают, что коэффициент теплового смещения напряжения от температуры не зависит и пользуются его средним значением, равным $\gamma_t = -2,3 \text{ мВ/град}$.

При этом изменение напряжения $U_{эб}$ линейно зависит от изменения температуры. Интегральный коэффициент усиления β также зависит от температуры. Графики зависимости β от температуры приведены в приложении.

Исходя из допустимого отклонения тока коллектора и учитывая, что в выражение для $\Delta I_{к}$ входят значения R_3 , R_6 , можно задаться одной из этих величин и определить другую. Например, задаваясь значением R_6 , находим значение R_3 , полагая $\Delta I_{к} < \Delta I_{к \text{ доп}}$.

$$R_3 = \frac{\beta (\Delta I_{к \text{ доп}} R_6 - \Delta U_{эб})}{\Delta I_{к \text{ доп}} - (I_{к0} + \frac{I_3 \Delta \beta}{(1 + \beta)^2})} - R_6$$

В этом случае, если задаемся значением R_3 , R_6 найдем из выражения:

$$R_6 \leq \frac{\beta (\Delta I_{к \text{ доп}} R_3 + \Delta U_{эб})}{(1 + \beta) [\Delta I_{к0} + \frac{I_3 \Delta \beta}{(1 + \beta)^2}] - \Delta I_{к \text{ доп}}} - R_3$$

Определение приращения напряжения на эмиттерном переходе

$$\Delta U_{эб} = \epsilon \cdot \Delta T = -2,3 \cdot 80 = -184 \text{ мВ}$$

Определения приращения обратного тока коллектора в диапазоне температур (по Кельвину):

$$\Delta I_{к0} = I_{к0} (T_0^{\circ}K) \cdot \left(2^{\frac{T_1^{\circ}K - T_0^{\circ}K}{10}} + 2^{\frac{T_2^{\circ}K - T_0^{\circ}K}{10}} - 1 \right)$$

$$\Delta I_{к0} = 5 \cdot \left(2^{\frac{313-298}{10}} + 2^{\frac{273-298}{10}} - 1 \right) =$$

$$= 5 (2,83 + 5,5 \cdot 10^{-3} - 1) = 14,1 \text{ мкА.}$$

Определение приращения коэффициента усиления по току. В диапазоне температур произведем из графика приложения.

При минимальной температуре

$$\frac{h_{21э}(T_1)}{h_{21э}(T_0)} = 0,55; h_{21э}(T_1) = h_{21э}(T_0) \cdot 0,55 = 70 \cdot 0,55 = 38,5.$$

При максимальной температуре

$$h_{21э}(T_2) = h_{21э}(T_0) \cdot 1,2 = 70 \cdot 1,2 = 84$$

$$\Delta h_{21э} = 84 - 38,5 = 46,5.$$

Определим значение сопротивления резистора R_6 , исходя из допустимого отклонения тока коллектора

$$R_6 \leq \frac{70(4,5 \cdot 0,1 - 0,184)}{71 \left(0,014 + \frac{15 \cdot 46,5}{71^2} \right)} - 0,1 = 1,78 \text{ кОм}$$

$$R_6 = 1,8 \text{ кОм.}$$

Определим значения сопротивления резисторов R_{61} и R_{62}

$$R_{61} = \frac{E_k \cdot R_6}{I_3 \cdot R_3} = \frac{10 \cdot 1,8}{15 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1} = 12 \text{ кОм}$$

$$I_3 = I_k + I_6 = 15 \text{ мА}$$

$$R_{62} = \frac{1}{\frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_{61}}} = \frac{1}{\frac{1}{1,8} + \frac{1}{12}} = 2,1 \text{ кОм.}$$

II. Расчет режима усилительного каскада по переменному току

В основу расчета положим эквивалентную схему каскада для области средних частот.

1. Графический вариант расчета.

Построим нагрузочную прямую по переменному току. Согласно эквивалентной схеме сопротивлением нагрузки усилительного каскада является эквивалентное сопротивление $R'_н$, равное:

$$R'_н = R_k \parallel R_n = \frac{R_k \cdot R_n}{R_k + R_n} = \frac{0,2 \cdot 0,1}{0,3} = 70 \text{ Ом.}$$

На рисунке 3 через точку покоя А проводим нагрузочную прямую под углом α

$$\alpha = \text{arctg} \frac{1}{R'_н \cdot K_m} = \text{arctg} \frac{1}{0,07 \cdot 10} = 54^\circ.$$

В знаменателе под знаком tg коэффициент, равный $K_m = 10$, вводится для уравнивания масштабов осей I_k и $U_{кэ}$

$$K_m = \frac{m I_k}{m U_{кэ}} = 10.$$

Определим входное сопротивление каскада $R_{вхк}$

$$R_{вхк} = R_6 \parallel R_{вхт} = \frac{R_6 \cdot R_{вхт}}{R_6 + R_{вхт}}$$

где $R_{вхт}$ — входное сопротивление транзистора

$$R_{вхт} = h_{11э} = 0,2 \text{ кОм.}$$

Определим амплитуду входного тока, поступающего в усилительный каскад $I_{вхк}$:

$$I_{вхк} = \frac{U_{вхк}}{R_k + R_{вхк}}; I_{вхк} = \frac{0,5}{1 + 0,125} = 4,4 \cdot 10^{-1} \text{ мА.}$$

Определим амплитуду напряжения сигнала на входе транзистора

$$U_{вхт} = I_{вхк} \cdot R_{вхк} = 0,44 \cdot 180 = 79 \text{ мВ.}$$

На входных характеристиках рисунка 3 отложим размах переменного напряжения $U_{вхт}$ относительно точки покоя. По крайним изменениям $U_{вхт}$ на входной характеристике для $U_k = 5 \text{ В}$ определим амплитудное значение входного тока транзистора:

$$I_{вхт} = 0,2 \text{ мА.}$$

Крайние значения тока базы определим на выходных характеристиках.

По ним определим амплитуду сигнала на нагрузке, т. е. на выходе каскада $U_{\text{вых к}} = 3 \text{ В}$.

Определим выходное сопротивление транзистора $R_{\text{вых т}}$

$$R_{\text{вых т}} = \frac{1}{h_{22\text{э}}} = \frac{1}{4,3 \cdot 10^{-3}} = 2,32 \text{ кОм.}$$

Определим выходное сопротивление каскада

$$R_{\text{вых к}} = R_{\text{к}} \parallel R_{\text{вых т}} = \frac{R_{\text{к}} \cdot R_{\text{вых т}}}{R_{\text{к}} + R_{\text{вых т}}} = 0,18 \text{ кОм.}$$

Определим коэффициент усиления $K_{\text{ик}}$

$$K_{\text{ик}} = \frac{U_{\text{вых к}}}{U_{\text{вх т}}} = \frac{3}{0,079} = 38.$$

Определим коэффициент передачи $K'_{\text{ик}}$

$$K'_{\text{ик}} = \frac{U_{\text{вых к}}}{U_{\text{вх к}}} = \frac{3}{0,5} = 6.$$

Определим коэффициент усиления $K'_{\text{ик}}$

$$K_{\text{ик}} = \frac{I_{\text{вых т}}}{I_{\text{вх т}}} = \frac{6}{0,14} = 42,9.$$

Определим коэффициент усиления $K'_{\text{ик}}$

$$K'_{\text{ик}} = \frac{I_{\text{вых т}}}{I_{\text{вх к}}} = \frac{6}{0,44} = 14.$$

Определим коэффициент усиления по мощности

$$K_{\text{рк}} = K_{\text{ик}} \cdot K_{\text{ик}} = 38 \cdot 42,9 = 1630.$$

2. Аналитический вариант расчета.

$$R_{\text{вх т}} = r_{\text{б}} + r_{\text{э}}(h_{21\text{э}} + 1) = 60 + 2 \cdot 71 = 0,2 \text{ кОм.}$$

$\gamma_2 = \frac{R_{\text{б}}}{R_{\text{б}} + R_{\text{вх т}}}$ — коэффициент токораспределения между входным сопротивлением транзистора и эквивалентным сопротивлением цепи базы $R_{\text{б}}$.

$$\gamma_1 = \frac{1,8}{2} = 0,9$$

$$\gamma_2 = \frac{R_{\text{к}} \parallel R_{\text{вых т}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{к}} \parallel R_{\text{вых т}}} = 0,43$$

γ_2 — коэффициент токораспределения между нагрузкой и выходным сопротивлением транзистора

$$K'_{\text{ик}} = h_{21\text{э}} \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 = 70 \cdot 0,9 \cdot 0,43 = 24$$

$$K_{\text{ик}} = h_{21\text{э}} \cdot \frac{R'_{\text{н}}}{R_{\text{вх т}}} = 70 \cdot \frac{0,067}{R_{\text{вх т}}} = 23.$$

Сравнительная оценка значений параметров, полученных разными вариантами расчета, позволяет заключить, что инструментальная погрешность расчета графическим путем сравнительно невелика, около 27%.

Рассмотрим влияние емкости связи на коэффициент усиления по напряжению.

Положим сначала $C_2 = C_3 = \infty$ и выясним роль C_1 .

Для количественного анализа следует, очевидно, добавить к $R_{\text{г}}$ сопротивление конденсатора $\frac{1}{\omega \cdot C_1}$,

тогда

$$K_{\text{и}}(\omega) = K_{\text{и0}} \cdot \frac{j\omega C_1 \cdot (R_{\text{г}} + R_{\text{вх к}})}{1 + j\omega \cdot C_1 \cdot (R_{\text{г}} + R_{\text{вх к}})}$$

После несложных преобразований

$$K_{\text{и}}(\omega) = K_{\text{и0}} \cdot \frac{j\omega\tau_{\text{н1}}}{1 + j\omega\tau_{\text{н1}}},$$

где

$$\tau_{\text{н1}} = C_1 \cdot (R_{\text{г}} + R_{\text{вх к}});$$

$K_{\text{и0}}$ — коэффициент усиления по напряжению в области средних частот.

Для количественного анализа влияния блокирующей емкости C_9 также используется выражение для $K_{\text{и}}$ в области средних частот, в котором к сопротивлению $r_{\text{э}}$ (входящему в $R_{\text{вх}}$) добавлено сопротивление конденсатора C_3 .

В этом случае выражение $K_{\text{и}}$ будет иметь вид:

$$K_{\text{и}}(j\omega) = K_{\text{и0}} \cdot \frac{j\omega\tau_{\text{н3}}}{1 + j\omega\tau_{\text{н3}}},$$

где $\tau_{\text{н3}} = C_3 \cdot r_{\text{э}}$.

Аналогично рассуждая о влиянии С2 на общее сопротивление нагрузки, получим

$$K_u(j\omega) = K_{u0} \cdot \frac{j\omega\tau_{нг}}{1+j\omega\tau_{нг}},$$

где $\tau_{нг} = C2 \cdot (R_k + R_n)$.

Коэффициент частотных искажений определяется как отношение

$$M_n = \frac{K_{цн}}{K_{ц0}},$$

где $K_{цн}$ — коэффициент усиления по напряжению на частоте, равной ω_n . Для обеспечения заданной величины коэффициента частотных искажений необходимо, чтобы

$$K_{цн} \geq M_n \cdot K_{ц0}.$$

Влияние каждой из емкостей можно учесть из выражения

$$M_n = M_{н1} \cdot M_{нг} \cdot M_{нэ}.$$

Задав распределение уровня искажений каждой емкостью, можно найти их значение из необходимой величины постоянной времени при нижней граничной частоте f_n .

$$\tau \geq \frac{1}{\omega_n} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{н1}^2} - 1}.$$

Например, для С2

$$\tau_{нг} \geq \frac{1}{2\pi f_n} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{нг}^2} - 1},$$

$$\text{т. к. } \tau_{нг} = (R_k + R_n) \cdot C2,$$

то

$$C2 \geq \frac{1}{2\pi f_n (R_k + R_n)} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{нг}^2} - 1}.$$

III. Расчет верхнего значения частоты усиливаемой полосы

В основу расчета положим эквивалентную схему для высоких частот. Определим постоянную времени нарастания

коллекторного тока транзистора с ОЭ на высоких частотах $\tau_{оэ}$:

$$\tau_{оэ} = \tau_k + h_{21э} \cdot R'_n \cdot C_k,$$

где τ_k — постоянная времени цепи обратной связи на предельной частоте; для транзистора ГТ 308 $\tau_k = 400$ пс R'_n — эквивалентное сопротивление нагрузки.

Подставив известные значения для $\tau_{оэ}$, получим:

$$\tau_{оэ} = 400 \cdot 10^{-12} + 70 \cdot 67 \cdot 8 \cdot 10^{-12} = 3,8 \cdot 10^{-8} \text{ с.}$$

Определим коэффициент отрицательной обратной связи, определяющей величину тока коллектора, ответвляющегося в базовую цепь γ_6 :

$$\gamma_6 = \frac{r_3}{r_3 + r_6 + R'_2}; R'_2 = R_2 \parallel R_6 = \frac{R_2 \cdot R_6}{R_2 + R_6} = \frac{1 \cdot 1,8}{2,8} = 0,64 \text{ кОм}$$

$$\gamma_6 = \frac{2}{2 + 60 + 640} = 3 \cdot 10^{-3}.$$

Определим верхнюю предельную частоту f_B

$$\omega_B = \frac{1 + h_{21э} \cdot \gamma_6}{\tau_{оэ}} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{н1}^2} - 1} = \frac{1 + 70 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{3,8 \cdot 10^{-8}} \sqrt{1,4^2 - 1} = 19 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{\text{с}}$$

$$f_B = \frac{\omega_B}{2\pi} = \frac{19 \cdot 10^6}{6,28} \approx 3 \text{ МГц.}$$

IV. Расчет шумовых параметров.

Определим коэффициент шума на средних частотах при нормальной температуре:

$$K_{ш} = 1 + \frac{r_6}{R'_2} + \frac{1}{2 \cdot \varphi_T} \cdot \frac{(R'_2 + 2r_6)^2 \cdot (1 - h_{21б}) \cdot I_э}{R'_2}$$

$$K_{ш} = 1 + \frac{60}{640} + \frac{1}{2 \cdot 0,026} \cdot \frac{(640 + 60)^2 (1 - 0,98) \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{640} = 5,49.$$

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

Электрические параметры транзистора типа ГТ308Б

Транзистор дрейфового типа, проводимость *p-n-p*.
 Обратный ток коллектора $I_{к0} = 5$ мкА.
 Постоянная времени цепи обратной связи на предельной высокой частоте $\tau_k = 400$ пс = $400 \cdot 10^{-12}$ с.
 Емкость коллекторного перехода $C_k = 8$ пФ = $8 \cdot 10^{-12}$ Ф.
 Предельный режим.

$U_{кэ}$ — постоянное напряжение коллектор-эмиттер, В	15
I_k — постоянный ток коллектора, мА	50
P_k — постоянная мощность рассеяния на коллекторе, мВт	150
$f_{кэ}$ — предельная частота, МГц	2,4

Электрические параметры транзистора типа МП38

Транзистор диффузного типа, проводимость *p-p-n*.
 Обратный ток коллектора = 15 мкА.
 Постоянная времени цепи обратной связи на предельной высокой частоте $\tau = 200$ пс.
 Емкость коллекторного перехода $C_k = 60$ пФ = $60 \cdot 10^{-12}$ Ф.
 Предельный режим

$U_{кб}$ — постоянное напряжение коллектор-база, В	15
I_k — постоянный ток коллектора, мА	20
P_k — постоянная мощность рассеяния на коллекторе, мВт	150
$f_{кб}$ — предельная частота, МГц	0,5
$f'_{кб}$ — это частота, на которой модуль коэффициента передачи тока h_{21} падает в $\sqrt{2}$ раз.	

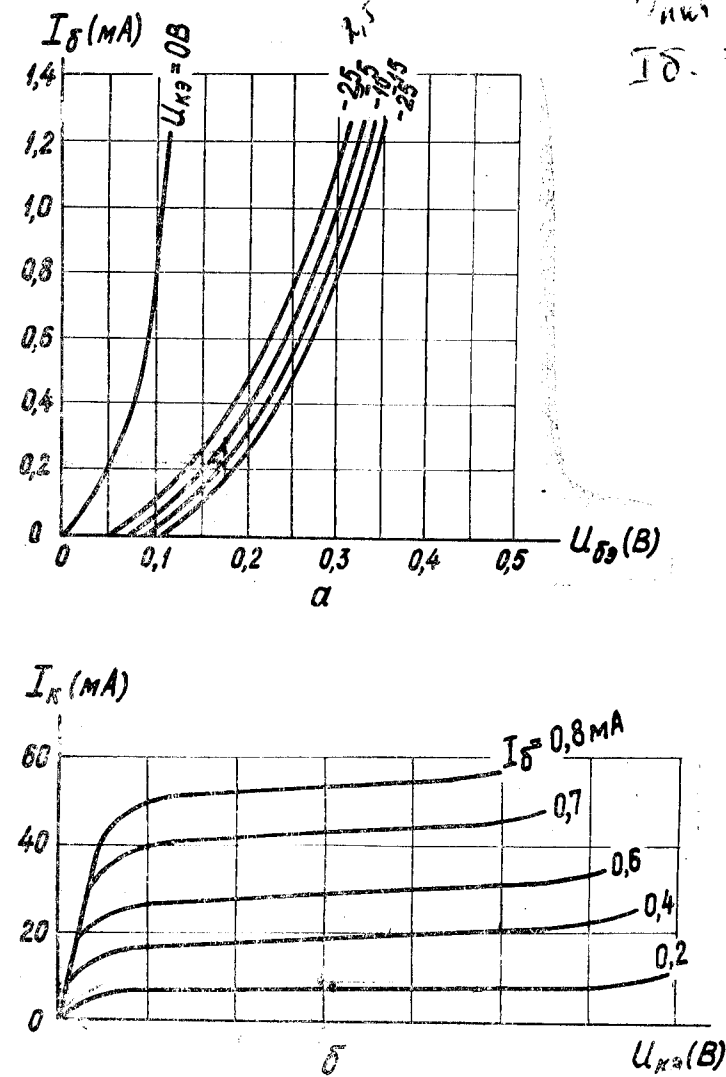


Рис. 5. Входные и выходные характеристики транзистора типа ГТ308Б.

Формулы перевода h — параметров в параметры Т-образной эквивалентной схемы замещения транзистора, включенного по схеме с ОЭ

$$\alpha = \frac{h_{21э}}{1 + h_{21э}}; \quad \beta = h_{21э}$$

$$r_k = \frac{h_{21э} + 1}{h_{22э}}$$

$$r_э = \frac{h_{12э}}{h_{22э}}$$

$$r_б = h_{11э} - \frac{h_{12э}(1 + h_{21э})}{h_{22э}}$$

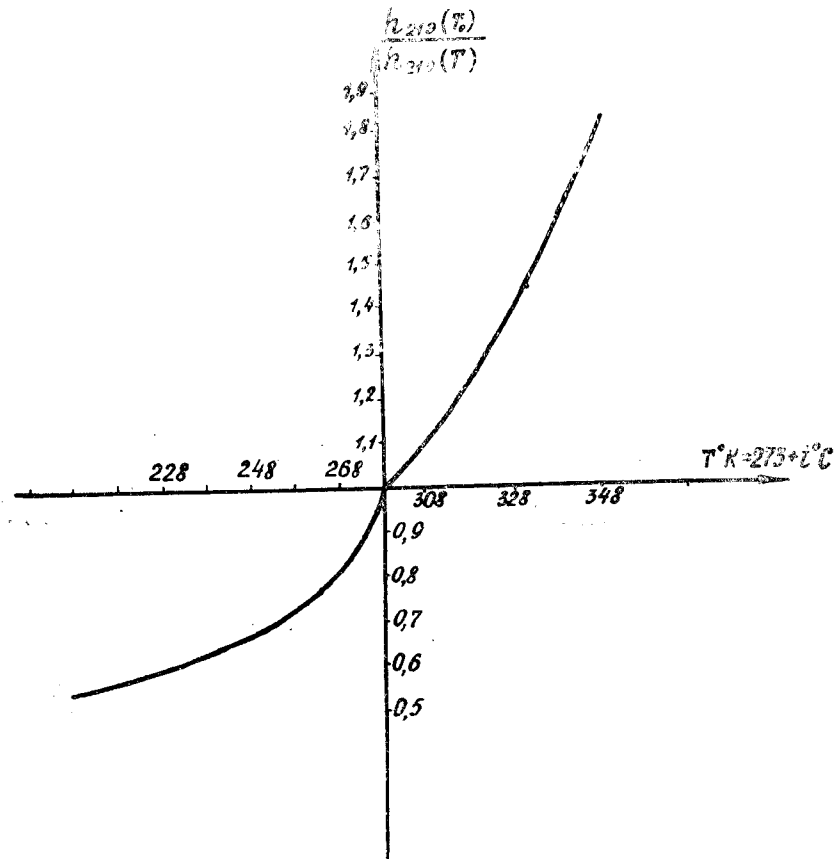


Рис. 6. Нормализованная зависимость параметра от температуры для транзистора ГТ308Б.

Приложение 3

Примерный перечень тем лекций и лабораторных занятий
для студентов-заочников 4 курса ВСХИЗО по специальности 1510

№ лекций	ТЕМА
1	Применение устройств электроники в установках сельскохозяйственных объектов. Электровакуумные и газонаполненные приборы
2	Полупроводниковые материалы. Виды проводимостей. Полупроводниковые приборы с <i>p-n</i> переходами
3	Электронные усилители. Классификация и характеристики усилителей. Эквивалентные схемы усилительных каскадов. Виды обратных связей
4	Генераторы синусоидальных прямоугольных и пилообразных напряжений. Импульсные устройства
5	Преобразовательные устройства. Выпрямительные устройства. Операционный усилитель и области его применения
№ лабораторных занятий	ТЕМА
1	Изучение электровакуумных и газонаполненных приборов. Снятие характеристик, определение параметров
2	Измерение параметров и характеристик полупроводниковых приборов (диодов, тиристоров, транзисторов)
3	Изучение устройств генерации электрических сигналов (синусоидального, прямоугольного)
4	Исследование и снятие характеристик устройств на операционном усилителе (активного фильтра, компаратора, генератора)

Приклеить в начале выполненной работы

ЗАДАНИЕ
ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОНИКА»

Шифр №

Студенту 4 курса _____

_____ института

№ _____

(фамилия, имя, отчество)

(шифр)

Рассчитать однокаскадный усилитель низкой частоты на транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером (рис. 1 методических указаний по указанной дисциплине).

Исходные данные для расчета:

Амплитуда напряжения на входе каскада _____ В

Сопротивление источников сигнала _____ кОм

Сопротивление нагрузки _____ кОм

Нижнее значение усиливаемой полосы частот _____ Гц

Допустимые частотные искажения _____

Минимальная рабочая температура _____ С

Максимальная рабочая температура _____ С

Напряжение источника питания _____ В

Относительное отклонение тока коллектора _____

«...» 198 . г.

(подпись выдавшего задание)

Линия отреза

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Общие методические рекомендации по изучению дисциплины	5
Рекомендуемая литература	5
Методические указания по изучению разделов курса	6
Тема 1. Электровакуумные и прочие приборы	6
Тема 2. Полупроводниковые приборы	7
Тема 3. Электронные усилители	9
Тема 4. Обратная связь	10
Тема 5. Генераторы	11
Тема 6. Преобразовательные электронные устройства	11
Тема 7. Импульсные устройства	12
Методические указания по выполнению контрольной работы	13
Приложения	30

Константин Александрович Арестов
Игорь Константинович Кругляков

ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания
по изучению дисциплины и задание
для контрольной работы

*Редакционно-издательский отдел
Всесоюзного сельскохозяйственного института
заочного образования*

Редактор **С. В. Ширшова.** Технический редактор **Г. С. Антипова.**
Корректор **Е. А. Спирина.**

Сдано в набор 20/II 1985 г.	Подписано к печати	
Формат бумаги 60×84 ¹ / ₁₆ .	Усл. печ. л. 2,79	Уч.-изд. л. 2,47
Заказ 448.	Бесплатно.	Тираж 6 100.

Типография Всесоюзного сельскохозяйственного института заочного образования (ВСХИЗО), 143900, г. Балашиха 8 Московской области.