**ЗНАКОМСТВО**

Проект года по дисциплине ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СХЕМЫ направлен на ознакомление студентов с методами изготовления, основными параметрами и их подъемом для биполярных и полевых транзисторов. Одновременно студенты изучают методы решения задач, связанных с правильным использованием активных элементов в электронных схемах, выбором режима работы после постоянного тока и проектированием полов усиления после напряжения и мощности с биполярными транзисторами.

Задание на оформление года вручается каждому студенту в начале семестра и включает в себя следующие основные пункты:

* технология изготовления биполярного транзистора;
* статические характеристики биполярного транзистора, соединенного в общей схеме эмиттера и общей базе;
* анализ эквивалентных схем биполярного транзистора;
* H-параметры для биполярного транзистора,
* работа биполярного транзистора в режиме переключения;
* повышение параметров биполярного транзистора в статическом и динамическом режиме;
* основные параметры биполярного транзистора ;
* использование биполярных транзисторов в электронных схемах (проанализирован принцип работы для 3-х принципиальных хем электронных схем, содержащих биполярные транзисторы из класса, номинированного преподавателем с минимальным количеством элементов 15);
* первые три задачи решаются при типичном использовании транзисторов в различных схемах по варианту, соответствующему порядковому номеру студента в бордиро академической группы;
* согласно варианту, пол усиления мощности спроектирован в основании биполярного транзистора без использования трансформатора;
* для проектируемого усилителя разрабатывается печатная пластина и монтажная пластина используемых элементов.

**1. ТИПИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ**

**ТРАНЗИСТОРЫ**

**Проблема 1**

По токо-амперным (КСТ) характеристикам биполярного транзистора (см. соответствующие приложения) с использованием графического метода для пола усиления должны быть произведены следующие расчеты:

* нарисовать линию нагрузки;
* нарисовать на семействе статических характеристик диаграммы токов и напряжений во времени и определить, могут ли возникать нелинейные искажения усиленного сигнала;
* для режима линейного усиления (искажения исключены) рассчитать входное и выходное сопротивление пола, коэффициент усиления по току , напряжению  и мощности . Определите полезное отключение питания при нагрузке и мощность, рассеянную на транзисторном коллекторе.

**Проблема 2**

Согласно ККТ биполярного транзистора (см. соответствующие приложения) и его параметрам на высокой частоте для пола усиления должны быть выполнены следующие расчеты:

* рассчитать значения параметров и построить эквивалентную схему активного устройства, анализируемого на низких частотах;
* рассчитать физические параметры эквивалентной цепи на высокой частоте.

**Проблема 3**

Согласно ККТ биполярного транзистора (см. соответствующие приложения) для определения параметров пола усиления в режиме силовой окупаемости:

* нарисовать линию нагрузки;
* для определения значения напряжения покоя открытого ключа , входного тока и мощности, необходимой для его открытия.

**Проблема 4**

Согласно данным в руководстве, нарисовать статические характеристики для транзистора с полевым эффектом и выполнить следующие расчеты для пола усиления с использованием графического метода:

* нарисовать линию нагрузки;
* нарисовать на семействе статических характеристик диаграммы токов и напряжений во времени и определить, могут ли возникать нелинейные искажения усиленного сигнала;
* для режима линейного усиления (искажения исключены) рассчитать входное и выходное сопротивление пола, коэффициент усиления по току , напряжению  и мощности . Определение полезного отключения питания для нагрузки и мощности, рассеянной на транзисторном коллекторе

**Проблема 5**

По статическим характеристикам полевого транзистора и его параметрам на высокой частоте (см. инструкцию) рассчитать:

* параметры эквивалентной схемы (с ее одновременным построением для низкой частоты);
* параметры эквивалентной схемы (с ее одновременным построением для высокой частоты);
* активная составляющая входной проводимости и модуль наклона активного прибора анализируются на частоте .

**Проблема 6**

По статическим характеристикам транзистора с полевым эффектом (после решения задачи 4) выполнить расчет свойств транзистора при работе в режиме переменного резистора:

* рассчитать и проследить характеристику ;
* рассчитать коэффициент усиления мощности для регулятора мощности, установленного на основе полевого транзистора.

**2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАЗРЕШЕНИЮ**

**ПРОБЛЕМЫ**

Основные понятия, необходимые для решения задач, предложенных в проекте года, могут быть отобраны в специализированной библиографии и лекциях по дисциплине ELECTRONIC DISPOTENTITIVE. Для того чтобы обеспечить более глубокое понимание материала, мы объясним некоторые аспекты, которые могут возникнуть при решении предложенных задач.

**2.1. Руководство по решению проблем 1**

После прослеживания семейств статических характеристик биполярного транзистора (см. рис. А.1, рис. А.2, рис. А.3, рис. А.5 и рис. A.6) Обратите внимание на то, что входной признак представлен в виде единой кривой. Объясняется это тем, что выходное напряжение очень плохо влияет на входную цепь транзистора. В результате семейство входных характеристик размещается на очень небольшой площади. По этим причинам используется только один элемент ввода (как показано на рис. А.1 и рис. А.5).

Линия нагрузки соответствует уравнению

 (2.1)

которые могут быть транскрибированы в виде

 . (2.2)

По семейству выходных характеристик порядок этой строки к  значениям соответствует точке . Абсцисса соответствует точке . Если мы сейчас объединим эти два пункта, мы получим правильную задачу. Пересечение линии нагрузки с кривыми, соответствующими различным значениям для тока основания, определяет рабочую точку слоя усиления, которая имеет

загрузить резистор . Координаты рабочей точки определяют режим работы выходной цепи и , а координаты также по входной характеристике – режим работы входной цепи для данного транзистора.

Затем, конструируя синусоидальную вариацию значения базового тока (в соответствии с нагрузкой, полученной от преподавателя) с амплитудой , определяем диаграммы изменения токов и напряжений на клеммах транзистора.

После того, как мы проследим эти диаграммы с течением времени, необходимо определить вероятность нелинейных искажений усиленного сигнала.

По диаграммам можно сказать, что под действием переменного тока входная точка рабочей точки перемещается справа от нагрузки. Если на какой-то момент времени рабочая точка попадает в область насыщения или блокировки, то возникают нелинейные искажения, которые называются «ограничением». В таком случае необходимо уменьшить амплитуду переменного сигнала на входе активного устройства до такого значения, которое обеспечило бы изменение рабочей точки в активном рабочем диапазоне для выбранного транзистора.

Следующие расчеты производятся только для активного режима работы транзистора. Такой режим работы называется линейным режимом (без искажений сигнала).

Когда мы обращаемся к  значениям, (по семействам ККТ), мы обращаем внимание на то, что для полуположительного и отрицательного периодов сигнала они могут быть разными. По этим причинам для сигнала с большой амплитудой нелинейные искажения могут возникать и при активной работе электронного устройства.

Для следующих расчетов значения амплитуды

определяемое как среднее значение за период:

 ; (2.3)

 ; (2.4)

 . (2.5)

Соответствующие значения рабочих параметров для анализируемого этажа усиления могут быть определены по диаграммам, полученным как отношение амплитуд соответствующих токов и напряжений:

; ; ; (2.6)

; ; . (2,7)

**2.1.1. Пример решения задачи 1**

Известно: пол усиления смонтирован в основании биполярного транзистора типа ГТ322А. Напряжение питания , номинальное сопротивление нагрузки , , .

Характеристики токового напряжения анализируемого транзистора показаны на фиг.2.1. Координаты грузовой линии: и . По этим координатам рисуем правую часть груза. Режим работы пола соответствует точке О по выходу и входному признаку. Построены графики времени для тока коллектора, напряжения, подаваемого на основание и коллектор транзистора при подаче переменного (синусоидального) сигнала с амплитудой .

Отметим, что если ток базы не соответствует

У БЭ,мВ

t

t

2IБм

UЧто = 5 В

а)

0

50

100

150

200

I B,мкА

2uбыть

-160

-320

UЧто = 0В

t

2

ВС,мА

U ЭК,В

t

2uСем

Уотдыха.

2Iсм

b)

0

01

4

6

8

10

50

100

150

200

250

ИБм

4

8

12

Рис.2.1. Статические характеристики транзистора

проанализировано в проблема 1

шаг семейства токо-амперных характеристик, затем самостоятельно рисуют промежуточные кривые (рис.2.5).

По нарисованным статическим характеристикам определяем амплитуды токов и напряжений.

 ;

 ;

 .

Схемы построены с учетом того, что напряжения, подаваемые на основание и коллектор, находятся в контрфазе.

Теперь мы определяем соответствующие значения рабочих параметров для анализируемого пола усиления.

 ;

 ;

 ;

 ;

 ;

 .

**2.2. Руководство по решению проблемы 2**

Рисуем статические характеристики анализируемого транзистора и затем определяем гибридные параметры . Номинированные параметры определяются по соответствующим кривым (кроме параметра ). Размеры карак-земных треугольников должны быть сведены к минимуму. В реальности требуемая точность может быть обеспечена, если выбрать стороны соответствующего треугольника примерно со значением 20% от соответствующих значений для режима работы постоянного тока.

Параметр определяется в соответствии с выходными характеристиками. По самостоятельно выбранному значению рисуется несколько дополнительных кривых токо-амперных характеристик (рис.2.5). Таким образом мы можем писать

 ; (2.8)

 ; (2.9)

 . (2.10)

Параметры  определяют основные свойства транзистора на низкой частоте (если усиливать сигналы с низкой амплитудой). Чтобы проиллюстрировать это, обратимся к рисунку на рис.2.2.





















Рис.2.2. Эквивалентная схема транзистора

биполярное расстройство на низких частотах

Схема, показанная на рис.2.2, может быть описана с помощью приведенных ниже уравнений.

 ; (2.11)

 . (2.12)

В связи с низким значением реакции в транзисторе на низкой частоте можно предположить за значение .

Если транзистор работает на высокой частоте, то все параметры становятся комплексными числами, то есть могут быть представлены с помощью активных и реактивных элементов.

Кроме того, значения активных и реактивных компонентов варьируются в зависимости от частоты. По этим причинам была модернизирована и эквивалентная схема биполярного транзистора для высоких частот. На фиг.2.3 показана эквивалентная схема для биполярного транзистора на высоких частотах (после Дьяколетто).



























Рис.2.3. Эквивалентная схема для биполярного транзистора при

высокие частоты (после Djacoletto)

элементы , , , , формируют режим основания транзистора и емкость коллекторного перехода. Элементы и модель входной схемы для идеального транзистора (без реакции). Элементы также  формируют входную схему транзистора при его соединении в схеме с общим эмиттером. Подчеркнем, что эквивалентный генератор тока в выходной цепи зависит от напряжения. Это позволяет считать, что уклон не зависит от частоты.

С помощью эквивалентной физической схемы мы можем определить любой параметр транзистора при известном значении частоты. Например, параметр можно определить, если на выходе схемы мы имеем короткое замыкание после переменного тока (см. рис.2.4).

















Рис.2.4. Эквивалентная схема биполярного транзистора

используется для расчета значения сопротивления

высокочастотный вход

Значения элементов эквивалентной схемы определяются следующим образом.

 , (2.13)

где:  показывает прочность основания биполярного транзистора; ; - постоянная времени для реакционной цепи транзистора, поднятая до значения, известного для тока коллектора; - суммарная мощность коллекторного перехода.

Остальные параметры для номинируемого режима определяются следующим образом:

 ; (2.14)

 ; (2.15)

 ; (2.16)

 ; (2.17)

 ; (2.18)

 , (2.19)

где: наклон транзистора после перехода эмиттера; - предельная частота транзистора (); - значение тока коллектора в рабочей точке транзистора; - барьерная емкость для перехода излучателя.

Из этого следует, что мы можем рассчитать входную проводимость для анализируемого транзистора () и входную емкость (). Для этого мы используем следующие отношения:

 ; (2.20)

 , (2.21)

где

 . (2.22)

Последняя связь не вычисляется. Выполняются только вычисления для и  в зависимости от соотношения для десяти значений (в диапазоне 0,1...1,0).

**2.2.1. Пример решения задачи 2**

Как уже упоминалось выше, параметры определяются для увеличения ниже предела 20% от значений, полученных в выбранной рабочей точке. Для значений и (точка O на рис.2.5) мы имеем:

 ;

 .

Принимая во внимание тот факт, что наклон кривых в точке действия очень мал, необходимо увеличить значение для . В таком случае мы определим значение более точно . По этим причинам мы выбираем значение  .

Соответствующие треугольники, соответствующие первоначально полученным данным, показаны на фиг.2.5 с хешированием. Теперь мы можем написать следующее:

У БЭ,мВ

а)

0

50

100

150

200

I B,мкА

δuБыть

-160

-320

δiB

2

ВС,мА

U ЭК,В

δuСем

b)

0

01

4

6

8

10

50

100

150

200

250

4

8

12

0

δiC

δiC1

135

165

Рис.2.5. Графический метод определения параметров 

 ;

 ;

 .

Эквивалентная схема анализируемого транзистора на низкие частоты показана на рис.2.6.













Рис.2.6. Эквивалентная схема анализируемого транзистора в

проблема 2 на низких частотах

Теперь определим значения физических элементов эквивалентной схемы при соединении биполярного транзистора с общей эмиссионной цепью:

 ;

 ;

 .

За значение получаем:

 ;

 ;

 ;

 ;

 .

Величина пропускной способности барьера очень низкая и не учитывается. Эквивалентная физическая схема в анализируемом режиме показана на рис.2.7.

























Рис.2.7. Эквивалентная физическая схема транзистора

в рассматриваемом режиме

**2.3. Руководство по решению проблемы 3**

Рисуем статические характеристики транзистора по соответствующему варианту и определяем его свойства как электронного ключа.

Маркировка грузовой линии осуществляется аналогично задаче 1. Однако в этом случае рабочая точка транзистора будет переведена в блокирующий режим (транзистор не проводит ток), либо в режим насыщения (транзистор приводит к максимуму). Напряжение покоя определяется в соответствии с выходными характеристиками.

Для получения уменьшенного значения времени соединения транзистора рекомендуется применять входной ток в несколько раз выше того, который обеспечивает режим насыщения, т.е.

 , (2.23)

где: показывает коэффициент насыщения. Как правило, значение этого коэффициента помещается в пределах от 3 до 5.

Мощность, используемая входной цепью () при включении ключа

 , (2.24)

где  значение определяется по входной характеристике транзистора для значения (режим насыщения). Мощность, рассеиваемая на транзисторном коллекторе в «спаренном» режиме

 . (2.25)

Сопротивление транзистора в «спаренном» режиме

 . (2.26)

**2.3.1. Пример решения задачи 3**

Режим работы транзистора в качестве электронного ключа может быть проанализирован с использованием характеристик, указанных в fin.2.1. Размещение точки соответствует режиму открытого транзистора. Это напряжение покоя, или

 .

Значение базового тока, необходимого для безопасного соединения транзистора, выше, чем при значениях для 

 .

Включенный транзистор находится в режиме насыщения, то есть можно сказать, что . Входное напряжение, соответствующее току связи, определяется в соответствии с входными характеристиками для значений . В примере приведено напряжение . Соответственно мы получаем для , и .

**2.4. Руководство по решению проблемы 4**

Как правило, статические характеристики полевых транзисторов в руководстве не указаны. На их месте кунт представил некоторые основные моменты для соответствующих характеристик, которые позволяют построить их с помощью графоаналитического метода.

Например, функция передачи для полевого транзистора 

Может быть описан следующим образом

 , (2.27)

где  , показывает основные точки статической характеристики, схематически показанной на рис.2.8.

****

****

****

****

****

****

****

****

Рис.2.8. Функция передачи

для полевого транзистора

Для транзисторов с полевым эффектом, основанным на p-n переходе, рассматривается. Для транзисторов МОП-типа значение не указывается в направляющей, но его можно определить по сетевому напряжению, которое соответствует заданному току (например) или по току слива, который соответствует напряжению в сети  (начальному току). Для этого уравнение 2.27 имеет вид

решается относительно с помощью . Подчеркнем, что для транзисторов мос-типа с индуцированным каналом напряжение блокировки называется пороговым напряжением.

При построении статической характеристики мы обращаем внимание на полярность напряжений, подаваемых на клеммы транзистора. По этим причинам могут существовать различные комбинации текущих направлений.

Семейство выходных характеристик прослеживается в координатах .

В активном режиме работы транзистора ток дренажа практически не зависит от величины напряжения, приложенного на слив. Это позволяет проследить характеристики параллельно оси напряжения. На рис.2.9 эти кривые нарисованы пунктирными.

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

Рис.2.9. Выходная характеристика для транзистора

с полевым эффектом

Активный режим работы транзистора с эффектом поля соответствует ему, отмечая эти точки , которые соответствуют разным значениям , получаем на точках рисования 1,2,3,4. В результате получаем статическую характеристику полевого транзистора. В зависимости от рабочей точки () и значения сопротивления нагрузке (или значения напряжения питания) мы можем нарисовать нагрузку правильно. Процедура аналогична решению задачи 1, за исключением того, что необходимо определить значение 

 . (2.28)

По семейству выходных и передаточных характеристик отметим рабочую точку транзистора. Область допустимых значений напряжений и токов ограничена слева точками 1,2,3,4, а справа – значениями допустимой мощности, которая может рассеиваться по стоку дрона. Характеристика рассеянной мощности показывает гиперболу, которая описывается с помощью следующего уравнения:

 . (2.29)

При рисовании диаграмм токов и напряжений во времени возможны искажения усиленного сигнала, поскольку рабочая точка движется в запрещенном режиме. В таком случае мы уменьшим амплитуду входного сигнала до значения, позволяющего работать электронному устройству в штатном режиме. Именно для значения этой амплитуды сигнала мы определим основные параметры и построим диаграммы тока и напряжения как функцию времени.

Для определения коэффициента усиления необходимо использовать среднее значение для тока стока

 , (2.30)

где — амплитуда положительного полупериода сигнала, а — амплитуда сигнала за отрицательный полупериод.

Средний наклон устройства

 . (2.31)

Коэффициент усиления напряжения для пола усиления

 . (2.32)

Значение входного тока определяется резистором в сетевой цепи , через который к управляющей сети подается постоянное напряжение . Как правило . При таком состоянии коэффициент усиления по току прибора

 . (2.33)

Усиление пола с помощью питания

 . (2.34)

Если определить входное сопротивление транзистора по статическим характеристикам, то получится, что оно бесконечно. На самом деле .

**2.4.1. Пример решения задачи 4**

Рисуя статические характеристики транзистора с эффектом поля, проиллюстрируем его для транзистора КП313А (канал типа-n).

Согласно руководству данный транзистор обладает следующими основными параметрами: ; (при значениях); ; .

По приведенным выше данным можно определить числовое значение напряжения , которое соответствует формальному

 , (2.35)

или

 .

Уравнение нужного признака имеет вид:

 .

Теперь мы завершаем таблицу 2.1.

Таблица 2.1.

Уравнение признака 

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 0,32 | 1,30 | 2,90 | 5,00 | 7,90 | 9,60 |
|  | -3,0 | -2,0 | -1,0 | 0 | 1,0 | 2,0 | 2,5 |

Данная таблица соответствует зависимостям, показанным на рис.2.10.

Хотя согласно теоретическим данным, ток электронов имеет отрицательную реакцию, все характеристики рисуются в верхней части координатных осей, т.е. ток стока помещается на **координату +y**.

Между предельными  значениями рисуем семейство выходных характеристик прибора. Если теперь мы проведем линии, параллельные оси x с интервалом (от

8

6

4

2

10

1

2

3

-1

-2

-3

0

И Д,мА

УГС,В

ЯмД+

ЯмД-

t

УмГС=2В

УмГС=1В

Рис.2.10. Характеристика транзистора

анализируется в проблема 4

например ), получаем семейство характеристик с разными значениями диапазона . Мы также можем нарисовать характеристики с равным диапазоном напряжений , например .

Теперь определим координаты точек, соответствующих режиму блокировки транзистора:

пункт 1 согласован ;

точка 2 имеет координату ;

точка 3 имеет координату  и т.д.

Теперь проследим лучи от начала координат в точках, полученных 1,2,... 6 и мы получаем семейство востребованных функций. Если мы теперь сравним полученные результаты с семействами реальных характеристик, перечисленными в приложении, то увидим, что они удовлетворительно соответствуют в первом приближении.

Чертеж линии нагрузки и диаграмм напряжения и тока с течением времени выполняется аналогично задаче 1 (см. рис.2.11). Либо, например, ; ; и . Рабочая точка находится в положении 0. Подчеркнем, что значение берется произвольно и в вариантах задач оно не встречается. При построении диаграмм во времени замечено, что при нелинейных искажениях усиленного сигнала возникают из-за того, что рабочая точка размещается в омической области семейств характеристик. По этим причинам мы уменьшаем амплитуду напряжения в сети. В таком случае искажения исчезают. Определяем по кривым характеристик значение . Теперь мы можем определить среднее значение наклона транзистора с эффектом поля

 .

8

6

4

2

10

2

4

6

0

И Д,мА

УДС,В

УмГС=1В

t

8

10

12

14

0

UG=0В

-1в

6

5

4

3

2

1

-2В

+1В

+2В

+3В

УмГС=2В

УмДС1

УмДС2

УДС

t

Рис.2.11. Семейство выходных функций для

транзистор анализируется в проблема 4

Используя полученные данные, мы можем написать следующее:

* коэффициент усиления после напряжения для прибора, анализируемого в настоящей задаче, составляет ;
* прочность входа ;
* амплитуда тока сетки ;
* амплитуда тока слива ;
* коэффициент усиления после тока ;
* коэффициент усиления по мощности ;

Схема муфты транзистора показана на рис.2.12.













Рис.2.12. Схема сопряжения транзисторов по

проблемные данные 4

**2.5. Руководство по решению проблемы 5**

Для транзисторов с эффектом поля на низких частотах определяются только два основных параметра: наклон передающего признака

 (2.36)

и выходное сопротивление

 . (2.37)

Для такого анализа входное сопротивление считается равным номинальному и равным .

 Параметры определяются углом наклона передачи и выходными характеристиками для заданной рабочей точки. Как и в случае с биполярными транзисторами значения и берутся 20 % от номинального в рабочей точке. Учитывая, что выходные характеристики имеют очень низкий наклон, нам часто придется значительно увеличить значение.

Эквивалентная схема полевого транзистора должна иметь вид, показанный на рис.2.13. Мы часто пренебрегаем значением входного сопротивления, и тогда транзистор с полевым вефектом может быть смоделирован только с помощью выходной схемы.

Соответствующие расчеты параметров транзистора с эффектом поля на высоких частотах выполняются по эквивалентной схеме, показанной на рис.2.14. Все элементы этой схемы не зависят от частоты. Сетевая схема формируется по емкости и сопротивлению проводящего канала . Выходная схема формируется сопротивлением канала переменного тока, выходной мощностью  и

эквивалентный генератор тока .





















Рис.2.13. Эквивалентная схема транзистора с

эффект низкочастотного поля























Рис.2.14. Эквивалентная (физическая) схема

полевой транзистор

Реакционный контур между входом и выходом транзистора определяется емкостью . Номинальные значения этих мощностей указаны в руководстве и могут быть приняты равными . Эти значения приведены в приложении 5. Подчеркнем, что часто числовые значения для  и  являются равными.

Важной особенностью представленной схемы является тот факт, что эквивалентный генератор зависит от напряжения, подаваемого на сеть , и не зависит от входного напряжения . Именно эта особенность и отражает реальные частотные зависимости параметров (и ) прибора.

Используя эквивалентную схему, мы можем выполнить некоторые важные расчеты. Например, мы можем определить активную составляющую для входной проводимости транзистора на высокой частоте по соотношению

 (2.38)

или модуль передаточного наклона транзистора

 , (2.39)

где  (- рабочая частота), и - величина наклона транзистора на низких частотах.

**2.5.1.Пример решения задачи 5**

Первая часть задачи решается с помощью характеристик, указанных в Приложении 4.

Либо ; ; Самонадеянный

 ; ,

определяем с помощью передаточного признака величину уклона

 .

По семейству выходных характеристик определяем значение

 .

Соответствующая эквивалентная схема показана на графике 2.15.



















Рис.2.15. Физическая эквивалентная схема)

что соответствует задаче 5

**2.6. Руководство по решению проблемы 6**

При низких значениях дренажного напряжения полевой транзистор имеет номинальный линейный резистор, который зависит от потенциала, приложенного к сетке. По выходным характеристикам эта область называется омическим или триодным типом.

Схема аттенюатора переменного сигнала, использующего указанный режим полевого транзистора, показана на фиг.2.16.

















Рис.2.16. Схема аттенюатора сигнала в

основание полевого транзистора

Свойства регулятора описываются уравнением



где он показывает сопротивление транзистора переменного тока в выбранном режиме работы. Признак прослеживается путем вычисления наклона начальной части выходных характеристик для различных значений . Мощность направления на выходе аттенюатора . Мощность рулевого управления на входе регулятора определяется как . Непрерывное напряжение и значение амплитуды сигнала практически идентичны (порядка ). Из этого следует, что коэффициент усиления по мощности (максимуму) регулятора

 . (2.40)

**2.6.1.Пример решения задачи 6**

По статическим характеристикам прибора (рис.2.11, координаты точек 1...6) определяем шесть значений сопротивления транзистора в омическом режиме:

 ;

 и так далее.

В результате получаем зависимость, показанную на рис.2.17. Максимальное усиление стабилизатора

 .



















Рис.2.17. Характеристика регулятора по данным

представлено в Выпуске 6

# 3. СПОСОБ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОЛА

# УСИЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ПОЛА

# УСИЛЕНИЕ МОЩНОСТИ

На фиг.3.1 и фиг.3.2 показаны две типичные схемы усилителей с использованием биполярного транзистора в качестве активного элемента.

**РЭ**

**РС**

# р1

**РГ**

# р2

**Сд2**

**Сд1**

**РС**

**УГ**

**Uвыйти.**

**Uв.**

**ИБ**

**ИЕ**

**ВИ С**

**ЕС**

**Vt**

**СЕ**

Рис.3.1. Принципиальная схема пола усиления в

частота звука усилителя с транзистором

биполярное в сочетании с общим излучателем

**РЕ**

# р1

**РГ**

# р2

**Сд1**

**УГ**

**Uв.**

**ИБ**

**ЕС**

**Vt**

**СЕ**

**РС**

**T**

**Uвыйти.**

Рис.3.2. Принципиальная схема пола усиления

в мощности усилителя с транзистором

биполярное в сочетании с общим излучателем

В таб.3.1 и таб.3.2. представлены исходные данные, необходимые для проектирования таких усиленных полов.

Студенты используют данные, представленные в этих таблицах, следующим образом. Номер варианта, который принадлежит студенту, соответствует соответственно порядковому номеру в реестре классов для данной группы. Транзисторы отбираются по исходным данным с использованием руководящих принципов, указанных в библиографии.

Таблица 3.1.

Исходные данные для проектирования пола

усиление напряжения без трансформатора

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Нет.**  **известь.** | **Uieş.мах..** | **Рс, Ом** | **Фдж,**  **Гц** | **Мдж** | **ЕС,**  **V** |
| 1 | 1,8 | 320 | 140 | 1,20 | 6 |
| 2 | 3,6 | 480 | 200 | 1,15 | 9 |
| 3 | 3,5 | 560 | 230 | 1,10 | 12 |
| 4 | 3,2 | 580 | 240 | 1,10 | 9 |
| 5 | 3,1 | 550 | 100 | 1,25 | 9 |
| 6 | 3,0 | 540 | 180 | 1,25 | 9 |
| 7 | 2,8 | 520 | 170 | 1,20 | 9 |
| 8 | 2,7 | 500 | 160 | 1,15 | 9 |
| 9 | 2,5 | 480 | 150 | 1,30 | 9 |
| 10 | 2,3 | 450 | 140 | 1,20 | 6 |
| 11 | 2,1 | 400 | 120 | 1,15 | 6 |
| 12 | 2,0 | 350 | 90 | 1,30 | 6 |
| 13 | 1,7 | 250 | 70 | 1,15 | 6 |
| 14 | 3,4 | 600 | 150 | 1,15 | 12 |
| 15 | 4,0 | 590 | 170 | 1,20 | 12 |
| 16 | 3,4 | 550 | 140 | 1,20 | 12 |
| 17 | 6,0 | 350 | 150 | 1,25 | 15 |
| 18 | 4,0 | 250 | 120 | 1,30 | 9 |
| 19 | 3,0 | 600 | 100 | 1,25 | 9 |
| 20 | 2,0 | 400 | 90 | 1,30 | 6 |
| 21 | 10 | 450 | 200 | 1,15 | 24 |
| 22 | 2,4 | 600 | 180 | 1,10 | 6 |
| 23 | 1,6 | 280 | 160 | 1,10 | 6 |
| 24 | 2,2 | 440 | 110 | 1,15 | 6 |
| 25 | 2,5 | 200 | 60 | 1,20 | 6 |
| 26 | 3,8 | 300 | 80 | 1,20 | 9 |
| 27 | 1,5 | 200 | 70 | 1,10 | 12 |

Таблица 3.2.

Исходные данные для проектирования пола

усиление мощности с трансформатором

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Нет.**  **известь.** | **Pieş.** **,**  **W** | **РС, Ом** | **Фдж,**  **Гц** | **Мдж** | **ЕС,**  **V** |
| 1 | 4,0 | 3 | 110 | 1,20 | 9 |
| 2 | 1,5 | 15 | 110 | 1,15 | 24 |
| 3 | 1,5 | 19 | 110 | 1,12 | 24 |
| 4 | 1,5 | 18 | 200 | 1,20 | 24 |
| 5 | 1,5 | 17 | 200 | 1,25 | 24 |
| 6 | 2,0 | 16 | 200 | 1,20 | 12 |
| 7 | 2,0 | 15 | 160 | 1,25 | 12 |
| 8 | 2,0 | 14 | 160 | 1,20 | 12 |
| 9 | 2,0 | 13 | 160 | 1,12 | 20 |
| 10 | 2,5 | 12 | 100 | 1,15 | 18 |
| 11 | 2,5 | 11 | 100 | 1,20 | 18 |
| 12 | 2,5 | 10 | 100 | 1,14 | 12 |
| 13 | 4,0 | 13 | 200 | 1,12 | 24 |
| 14 | 1,5 | 8 | 120 | 1,20 | 12 |
| 15 | 1,0 | 15 | 160 | 1,20 | 6 |
| 16 | 0,5 | 12 | 140 | 1,14 | 12 |
| 17 | 2,5 | 4 | 120 | 1,12 | 9 |
| 18 | 0,9 | 10 | 60 | 1,20 | 6 |
| 19 | 2,0 | 6 | 110 | 1,15 | 12 |
| 20 | 3,0 | 5 | 100 | 1,12 | 24 |
| 21 | 1,0 | 3 | 90 | 1,14 | 6 |
| 22 | 1,8 | 9 | 70 | 1,20 | 18 |
| 23 | 2,0 | 4 | 90 | 1,14 | 12 |
| 24 | 1,8 | 6 | 100 | 1,12 | 24 |
| 25 | 1,5 | 55 | 130 | 1,18 | 9 |
| 26 | 1,0 | 5 | 180 | 1,20 | 12 |
| 27 | 1,5 | 10 | 110 | 1,13 | 9 |

**3.1. Способ проектирования усилителя**

**натяжение на основе биполярного транзистора**

Исходные данные: схема связи общего эмиттерного транзистора (ЭК); напряжение на выходе из пола усиления (на нагрузке) **Uвыходов.max.** **;** сопротивление нагрузке; нижняя предельная частота; допустимое значение коэффициента нелинейных искажений в нижнем диапазоне частот; напряжение блока питания **ЕС**. При выполнении расчетов предполагается, что температура окружающей среды, в которой размещен усилитель, находится в диапазоне +15...+25 0С.

Определять:

* тип транзистора, который будет использоваться в цепи;
* режим работы транзистора;
* номинал резистора в цепи **эмиттера RE**;
* номинал засорного конденсатора **СE**;
* номинальное значение резисторов делителя напряжения в цепи основания **R1, R2**;
* номинал разделительного конденсатора **Ср2**;
* номинал резистора от коллекторной цепи **RC**;
* коэффициент усиления пола после напряжения **КU**.

**3.1.1. Расчет усилителя напряжения**

1. Мы выбираем тип транзистора, что приводит нас к следующему:

а) **UCE.допущен.**  ** (1,1... 1,3)ЕC**, где **UCE.допущен.** — максимально допустимое значение напряжения между коллектором и эмиттером (согласно руководству для электронных устройств);

б) **IС.адмис.**  ** 2Ис.max.**  **= 2Uieş.max.** **/Rs**, где **я.max**. – допустимое значение амплитуды тока нагрузки, и **IС.допустил.** - допустимое значение тока коллектора (согласно руководству для электронных устройств).

Для таких полов усиления обычно используются маломощные транзисторы. Подчеркнем, что для диапазона температур окружающей среды, ожидаемого при расчете пола усиления, можно использовать любой транзистор. По этим причинам мы исключаем влияние температуры на параметры используемого транзистора.

Для транзистора, выбранного из руководства, семейства выходных характеристик и входной характеристики рисуются на миллиметровой бумаге при **значении UCE** = – 5 В. При этом отмечаются значения коэффициентов усиления тока для EC и схемы  связи и максимально допустимые значения для **допустимого UCE.** **, IК.адмис.** **, РК.адмис.** .

В некоторых руководствах присутствуют значения коэффициентов усиления для общей схемы базовой связи (BC). В этом случае значение коэффициента усиления тока для диаграммы связи ЕС рассчитывается с использованием соотношения.

2. Режим работы транзистора определяется по линии нагрузки (динамической выходной характеристике), нарисованной на семействе выходных характеристик для схемы муфты ЕС. Чертеж линии нагрузки показан на фиг.3.1,а. Линия нагрузки проводится после двух точек: начальной P и точки 1, которая определяется значением напряжения питания **ЕC**. Координатами точки P являются ток **IC0** и напряжение **UCE0** (т.е. ток и напряжение, соответствующие значению U **в.max.** = 0).

Он определяет I0C = (1,05... 1,20)Ieş. = (1,05... 1,20) Яс.max. но не менее 1 мА и **UCE0 = Uяссы.max.**  **– Уотдыха.max**. , где – **Uотдыхать.max**. показывает минимально допустимое значение для UCE.

При **значениях UCE**   **< Uпокоя** возникают довольно большие нелинейные искажения, являющиеся тем, что в рабочем диапазоне размещаются участки статических характеристик с большой нелинейностью. Для транзисторов малой мощности мы можем **Uотдыхать.** = 1 В. Для режима работы класса А рабочая точка P должна быть размещена в середине динамического объекта (когда входного сигнала нет). При этом изменение входного тока (базового тока) соответствует пропорциональным вариациям тока коллектора (выходного тока).

При выборе режима работы транзистора необходимо выполнить условие **IС.мин.** ** Ics = IC0**.

После нескольких точек нарисовать кривую допустимой мощности, которую может распространить транзистор

**РК.адмис.**  **= ICUCE** = конст.

и для температурных **значений Тмед.норма.**  **= + 25 0С** указано, обладает ли выбранный транзистор параметрами теплового режима.

1. Определяем номинальные значения для **RC** и **RE**. Согласно выходным характеристикам, показанным на фиг.3.1, найти общее значение **R**  **= RC + RE**. Суммарное сопротивление в эмиттерно-коллекторной цепи **total R= ЕC/I**, где iг **I** показывает ток, определенный в точке 4, т.е. на пересечении линии нагрузки с осью тока. Если определено

**RE = (0,15... 0,25) РС** ,

Получить

 ; .

4. По функции статического ввода определяем максимальные значения амплитуды для входного сигнала **Iintr.max.** и **Uin.max**. , необходимое для обеспечения необходимого значения **Uiasi.max**. . Если отталкиваться от значения минимального коэффициента усиления после тока используемого транзистора, то получится:

; .

Тогда

.

После статической характеристики ввода в схему ЕС, повышается до **значений UCE** = - 5 В (рис.3,b) и значений, полученных для **IB.min.** и **ЯБ.max.** определить значение **2Uв.м.** **.**

t

4

1

2

5

Р

3

ВИ С

IC=К.адм. /UЧто

ИВ5

ИВ4

ИВ3

IВ2

ИВ1

УСЕ

ЕС

t

УЭК0

Уотдыха.

УК.М.

УК.М.

Я

ИС.max.

И.М.

И.М.

IС.0.

IС.мин.

IC.min.adm.

ИБ

UБыть

11

21

1

t

t

ИБ.max..

IБ.мин.

2IБ.м.

2uинтр.м.

УБ.мин.

УБЭ.max. .

UЧто = -5 В

a)

б)

Рис.3.1. Определение режима работы

транзистор по семействам характеристик

выпуск

5. Определяем входное сопротивление пола усиления после переменного тока **Rintr.** (без учета делителей напряжения **R1** и **R2**):

 .

6. Определяем номиналы резисторов делителей напряжения **R1** и **R2**. Для уменьшения маневрового действия делителя на входной цепи предположим

 ,

где

 .

В таком случае

 ; .

7. Определяем коэффициент устойчивости в эксплуатации пола:

 ,

где он показывает максимально возможное значение коэффициента усиления тока для запрашиваемого транзистора.

Для нормальной работы нижнего предела усиления значение коэффициента устойчивости не должно превышать значения нескольких единиц.

8. Определяем мощность расщепляющего конденсатора **Сd2**:

 ; ,

где  — выходное сопротивление транзистора, определяемое в соответствии с выходными характеристиками для схемы муфты EC. В большинстве случаев . По этим причинам мы можем написать .

9. Определяем емкость конденсатора **СE**:

 .

10. Определяем значение коэффициента усиления пола по напряжению:

 .

**3.2. Конструкция пола усиления в**

**питание с использованием биполярного транзистора**

Исходные данные: мощность на выходе из слоя усиления **Рieş**. ; сопротивление нагрузки **RS**; нижний предел частоты **Fj**; коэффициент нелинейных искажений пола на низких частотах **Мj**; напряжение питания **ЕC**; температура окружающей среды + 15...+ 25 0С.

Определять:

* тип транзистора;
* режим работы транзистора;
* номинал резистора в цепи эмиттера;
* емкость конденсатора **СE;**
* номиналы резисторов в делителе напряжения в цепи основания **R1** и **R2**;
* коэффициент усиления пола по мощности **КР**;
* коэффициент преобразования трансформатора ;
* сопротивление первичного и вторичного трансформатора  и ;
* индуктивность трансформатора мэра ;
* поверхность радиатора для используемого транзистора , если это необходимо для обеспечения режима работы транзистора.

# 3.2.1. Методика расчета пола

1. Для выбора транзистора необходимо определить мощность **Р0** , которая будет рассеиваться по выбранному транзистору:

 ,

где - показывает коэффициент использования транзистора (= 0,35... 0,45); чем больше напряжение блока питания, тем выше значение;  - мощность, выдаваемая транзистором: .

Выход трансформатора  ожидается в пределах 0,7... 0,9.

Определяем для наведения значение напряжения, которое падает на активное сопротивление в первичном трансформаторе  и на сопротивление **RE**

 .

В этом случае максимальное значение напряжения, приложенного к транзистору

 .

По данным, полученным для **Р0** , мы выбираем после направляющего необходимый транзистор.

***Заметка.*** Для транзистора, выбранного из руководства, отметим допустимое значение тока коллектора, допустимое значение напряжения на коллекторе, максимальную мощность, которую может рассеивать транзистор **РC.adm**. , минимальное значение коэффициента усиления после тока, начальный ток коллектора, тепловое сопротивление, максимально допустимое значение температуры коллекторного перехода. Необходимо нарисовать на миллиметровой бумаге семейства выходных характеристик, входной признак к значению  и проследить допустимую гиперболу мощности рассеяния

 .

2. По статическим выходным характеристикам (общая схема связи эмиттера) определяем координаты рабочей точки Р (см. рис.3.2,а). Для этого определяем напряжение на коллекторе при  значениях и ток коллектора

 ; .

По полученным баллам Р (, ) и 4 (; ) рисуем правую часть груза. Для того чтобы определить рабочую часть на линии нагрузки, определяем значение напряжения покоя (как правило) и минимальный ток коллектора (- начальный ток коллектора). По значению определяется положение точки 2 и ее координата справа от груза. Необходимо, чтобы . Максимальное значение амплитуды выходного напряжения. Рабочий диапазон расположен в пределах пунктов 2 и 3. При выборе режима работы транзистора необходимо соблюдать условие

 .

Максимальная амплитуда тока  определяется точками Р и 2 или Р и 3.

Стоит отметить, что начальное размещение рабочей точки P (когда переменного сигнала на входе нет) в режиме усиления класса А для выбранного транзистора должно быть на полпути через рабочую часть по динамическому признаку. При этом вариации входного тока (базового тока) соответствуют пропорциональным вариациям выходного тока (тока коллектора). После этого проверяется, соответствует ли выбранный режим работы требуемой мощности  По назначенной линии нагрузки определяем

 .

Если режим работы выбран правильно . Если это условие не выполняется, то наклон грузовой линии увеличивается (увеличивается текущее значение для точки 1).

Необходимо, чтобы право предъявления обвинения не выходило за рамки региона, ограниченного гиперболой допустимых полномочий. Затем рассчитываются соответствующие значения минимального и максимального входного тока. Эти значения фиксируются на семействе входных характеристик (рис.3.2,b)

 ; .

После точек 1 и 2 входной характеристики определяем минимальные и максимальные значения напряжения на основе транзистора (и ) и максимальной амплитуды входного напряжения. Затем определяем мощность входного сигнала



и сопротивление транзистора при переменном токе



.

УБЭмакс..

t

ВИ С

IC= К.адм./UЧто

ИВ5

ИВ4

ИВ3

IВ2

ИБ1

УСЕ

t

Усемакс.

Уотдыха.

УК.М.

УК.М.

I=EC/rВ0

ИС.max.

И.М.

И.М.

IС0.

IС.мин.

1

2

3

P

4

УЭК0

t

ИБ

UБыть

UЧто = -5 В

t

ИБ.max.

2IБ.м.

IБ.мин.

Ube.min

2uинтр.м.

1

2

а)

b)

Рис.3.2. Определение режима работы

транзистора в усилителе

силовое соединение в общей схеме эмиттера

3. Сопротивление в цепи эмиттера  определяется значением напряжения, которое падает на этот ренистор. Предполагается, что для схемы анализируется. В этом случае он получается

 .

4. Емкость конденсатора, шунтирующего резистор, определяется в соответствии с соотношением



(при  значениях засора конденсатора может быть удален из схемы усилителя какой мощности).

1. Сопротивление делителя напряжения переменным током



должен обеспечить состояние



Тогда

 ; .

1. Коэффициент усиления пола по мощности

 .

7. Для расчета коэффициента преобразования силового трансформатора по наклону линии нагрузки (см. рис. 4,а) определяется величина сопротивления нагрузки коллектора после переменного тока

 .

В таком случае коэффициент преобразования для силового трансформатора должен быть равен

 .

1. Сопротивление обмотки трансформатора мэр

 ; .

1. Индуктивность трансформатора мэр

 .

10. При необходимости определите поверхность радиатора для охлаждения транзистора

 ,

где - допустимое значение температуры коллекторного перехода (согласно руководству для электронных устройств); - допустимое значение температуры окружающей среды, при которой работает усилитель мощности.