**Контрольное задание №1**

Исходные данные (Вариант №4):

|  |  |
| --- | --- |
| Еп, В | 9 |
| I0K, мА | 12 |
| U0КЭ, В | 4 |
| EГ, мВ | 50 |
| RГ, кОм | 0,6 |
| fН, Гц | 120 |
| fВ, кГц | 10 |
| M, дБ | 1 |
| tСМИН, оC | 0 |
| tСМАКС, оC | 35 |

Изобразим полную принципиальную схему предварительного каскада элементами связи с источником сигнала и последующим каскадом.

Выберем тип транзистора исходя из заданного режима его работы и частоты верхнего среза усилителя fВ

Еп=9В; I0K=12 мА; fВ=10кГц

Возьмем низкочастотный транзистор малой мощности. Например ГТ108А [3]. Это германиевый сплавной транзистор p-n-p типа.

Выпишем его основные параметры из справочника [3]:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметры | Режим измерения | ГТ108А |
| h21ЭМИН | UКЭ=-5В; IЭ=1 мА; tС=20 оC | 20 |
| h21ЭМАКС | 55 |
| СК, пФ | UКБ=-5В; f=465 кГц | 50 |
| τК, нс | UКБ=-5В; f=465 кГц | 5 |
| fh21Э, МГц | UКЭ=-5В; IЭ=1 мА | 0,5 |
| IКБО, мкА | UКБ =-5В; tС=20 оC | 15 |

Рассчитаем параметры малосигнальной модели биполярного транзистора [1].

Среднее значение коэффициента передачи тока равно:

 (1.1)

 *h*21Э=33,2.

Выходная проводимость определяется как

 (1.2)

 *h*22Э=1,2\*10-4 См.

Здесь UA— напряжение Эрли, равное 70... 150 В у транзисторов типа р-n-р.

Объемное сопротивление области базы rБ можно определить из постоянного времени τК коллекторного перехода:

 (1.3)

 rБ=100 Ом

Дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода определяется по формуле:

 (1.4)

 *r*Б’Э=74 Ом

где =2,2 Ом дифференциальное сопротивление эмиттера;

 0,026 В — температурный потенциал при Т= 300 К;

m=1 — поправочный коэффициент, принимаемый примерно равным 1 для германиевых транзисторов.

Входное сопротивление транзистора:

 (1.5)

*h*11Э=174 Ом

Емкость эмиттерного перехода равна:

 (1.6)

*СБ’Э*=4,3 нФ

Проводимость прямой передачи:

 (1.7)

 *Y21Э*=0,191 См

Рассчитаем параметры эквивалентной схемы биполярного транзистора по дрейфу [1].

Минимальная температура перехода транзистора

 (1.8)

где *PK*— мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора;

 (1.9)

*PK*=48 мВт,

*RПС*=0,5 °С/мВт,

*tПmin*= 14,4°С.

Максимальная рабочая температура перехода:

*tПmax= tСmax+ RПС PK* (1.10)

*tПmax*=49,4°С

Значение параметра h/21Э транзистора при минимальной температуре перехода:

 (1.11)

 *h/21Э* =26,4.

Значение параметра *h//21Э* транзистора при максимальной рабочей температуре перехода:

 (1.12)

*h//21Э* =52,3.

Изменение параметра Δh21Э в диапазоне температур:

 (1.13)

*Δh21Э* =26

Изменение обратного тока коллектора в диапазоне температур:

 (1.14)

*ΔIКБ0*=81 мкА,

где α — коэффициент, принимаемый для германиевых транзисторов в интервале 0,03— 0,035

Эквивалентное изменение тока в цепи базы в диапазоне температур:

 (1.15)

*ΔI0*=0,4 мА

Эквивалентное изменение напряжения в цепи базы, вызванное изменением температуры окружающей среды:

 (1.16)

 *ΔU0*=0,12В

Рассчитаем элементы эммитерной стабилизации тока покоя транзистора:

Зададимся падением напряжением на сопротивлении RЭ в цепи эмиттера транзистора равным

*URЭ*=0,2Eп=1,8В (1.17)

Определим сопротивление этого резистора:

 (1.18)

 *RЭ*=150 Ом

а также сопротивление резистора в цепи коллектора:

 (1.19)

*RК*=267 Ом

Округлим их значения до ближайших стандартных, они будут равны соответственно 150 Ом и 270 Ом

Зададимся допустимым изменением тока коллектора в диапазоне температур из условия

 (1.20)

 *ΔI0К=0,5I0K*=6 мА

При этом необходимо учитывать, что меньшее значение изменения этого тока приводит к увеличению тока, потребляемого резистивным делителем в цепи базы, к снижению входного сопротивления и ухудшению КПД каскада.

Исходя из требуемой стабилизации тока покоя каскада, определяют эквивалентное сопротивление в цепи базы транзистора:

 (1.21)

 *RБ*=4,2 кОм (стандартная величина – 4,3 кОм)

Рассчитаем ток базы в рабочей точке:

 (1.22)

 *IОБ*=0,36 мА

Пусть U0БЭ=0,3 В

Напряжение на нижнем плече резистивного делителя в цепи базы:

 (1.23)

 *URБ2*=2,1 В

Сопротивление верхнего плеча резистивного делителя в цепи базы:

 (1.24)

 *RБ1*=10 кОм (стандартная величина – 10 кОм)

Сопротивление нижнего плеча делителя в цепи базы:

 (1.25)

 *RБ2*=4,2 кОм (стандартная величина – 4,3 кОм)

Входные сопротивления рассчитываемого RВХ и последующего RВХ2= RН каскадов:

 (1.26)

 RВХ1=167 Ом

Выходное сопротивление каскада:

 (1.27)

 RВЫХ=260 Ом

Определим емкости разделительных (СР1 и СР2) и блокировочного (СЭ) конденсаторов. Эти конденсаторы вносят частотные искажения в области нижних частот примерно в равной степени. В связи с этим заданные на каскад частотные искажения *МН*(дБ) в децибелах целесообразно распределить поровну между данными элементами:

*МНСР1=МНСР2=МНСЭ=*0,33 дБ

 Емкость первого разделительного конденсатора:

 (1.28)

 *СР1*=6,1 мкФ (стандартная величина – 6,2 мкФ)

Емкость второго разделительного конденсатора:

 (1.29)

 *СР2*=11 мкФ (стандартная величина – 10 мкФ)

Емкость блокировочного конденсатора в цепи эмиттера:

 (1.30)

где

 (1.31)

 *М0*=7,7;

 *СЭ*=238 мкФ (стандартная величина – 240 мкФ);

Сопротивление нагрузки каскада по переменному току:

 (1.32)

 =103 Ом

Коэффициент передачи каскада по напряжению:

 (1.33)

 *КU*=20

Сквозной коэффициент передачи по напряжению:

 (1.34)

 *КЕ*=4,2

Выходное напряжение каскада:

 (1.35)

 *UВЫХ*=213 мВ

Коэффициент передачи тока:

 (1.36)

 *Ki*=20

Коэффициент передачи мощности:

 (1.37)

 *KP*=383

Верхняя граничная частота каскада определяется по формуле:

 (1.38)

где — эквивалентная постоянная времени каскада в области верхних частот.

Постоянную времени можно определить из выражения

 (1.39)

где и — постоянные времени входной и выходной цепей соответственно.

Эти постоянные времени определяются по формулам

 (1.40)

 (1.41)

где *С0* — эквивалентная входная емкость каскада,

Сн — емкость нагрузки.

Эквивалентная входная емкость каскада включает емкость перехода база — эмиттер и пересчитанную на вход емкость перехода база — коллектор Ск :

 (1.42)

*С0*=5,3 нФ;

=0,7 мкс; =0,5 мкс;

= 0,9 мкс.

fВ=180 кГц.

Определим частотные искажения в области верхних частот

 (1.40)

 *МВ*=0,013

и сравним их с заданным значением М. Т.к. условие выполняется, т.е. МВ(дБ)<М(дБ), следовательно расчет произведен верно.

**Контрольное задание №2**

тип схемы: 7;

тип транзистора: p-n-p - КТ363Б

Выпишем основные параметры заданных транзисторов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | КТ363Б |
| h21Эmin | 40 |
| h21Эmax | 120 |
| |h21Э| | 15 |
| fизм, МГц | 100  |
| τK, пс | 5 |
| CK, пФ | 2 |

Eг=1мВ; fc=10кГц; Rг=1кОм; Rн=1кОм; Сн=100пФ; Ср2=10мкФ.

Принципиальная схема анализируемого каскада с подключенными к ней источником сигнала и нагрузкой имеет вид:

Рассчитаем режим работы транзисторов по постоянному току, пусть Еп=10 В.

Расчет схемы по постоянному току проводится в следующем порядке. Рассчитаем ток делителя в базовых цепях транзисторов:

 (2.1)

Определить потенциалы баз транзисторов:

 (2.2)

 (2.3)

Найдем потенциалы эмиттеров транзисторов:

 (2.5)

 (2.6)

Напряжение U0БЭ выбирается в интервале 0.5...0,7 В для кремниевых транзисторов, выберем U0БЭ=0,5В.

Рассчитаем ток в резисторе, подключенном к эмиттеру первого транзистора:

 (2.7)

Рассчитаем ток коллектора в рабочей точке, для этого найдем сначала найдем среднее значение коэффициента передачи тока:

 (2.8)

 *h21Э*=69,

тогда:

 (2.9)

 (2.10)

Определим напряжение на коллекторе в рабочей точке:

 (2.11)

 (2.12)

По результатам расчета статического режима определяются параметры моделей первого и второго транзисторов:

Выходная проводимость определяется как

 (2.13)

h221=1,3\*10-5 См, h222=1,2\*10-5 См.

Здесь UA— напряжение Эрли, равное 100... 200 В у транзисторов типа n-р-n. Примем UA=100В.

Предельная частота усиления транзистора по току определяется по единичной частоте усиления fТ:

 (2.14)

Граничная частота fТ находится по формуле:

 (2.15)

fТ1,2=1,5 ГГц;

=22 МГц.

Объемное сопротивление области базы rБ можно определить из постоянной времени τК коллекторного перехода транзистора, приводимой в справочниках:

 (2.16)

rБ1,2=2,5 Ом.

Дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода определяется по формуле:

 (2.17)

*rБ’Э1*=2,2 кОм, *rБ’Э2*=2,2 кОм.

где дифференциальное сопротивление эмиттера;

0,026 мВ — температурный потенциал при Т= 300 К;

m — поправочный коэффициент, принимаемый примерно равным 1.5 для кремниевых транзисторов.

*rЭ1*=31 Ом, *rЭ2*=31 Ом.

Емкость эмиттерного перехода равна:

 (2.18)

*СБ’Э1*=3,4 пФ; *СБ’Э2*=3,3 пФ

Определим коэффициент передачи по напряжению, входное и выходное сопротивление оконечного каскада, построенного по схеме с ОЭ.

Входное сопротивление транзистора VT2:

h112=rБ2+rБ’Э2=2,2 кОм (2.19)

Входное сопротивление каскада:

 (2.20)

Выходное сопротивление каскада:

 (2.21)

Сопротивление нагрузки каскада по переменному току:

 (2.22)

Коэффициент передачи каскада по напряжению:

 (2.23)

*KU2*=16

Определим коэффициент передачи по напряжению, сквозной коэффициент передачи по напряжению, входное и выходное сопротивления входного каскада. При этом необходимо учитывать, что нагрузкой входного каскада является входное сопротивление оконечного каскада. Входной каскад построен по схеме с ОЭ.

Входное сопротивление транзистора VT2:

*h111=rБ1+rБ’Э1=2,2 кОм* (2.24)

Входное сопротивление каскада:

 (2.25)

Выходное сопротивление каскада:

 (2.26)

 (2.27)

Сопротивление нагрузки каскада по переменному току:

 (2.28)

Коэффициент передачи каскада по напряжению:

 (2.29)

*KU1*=32

Сквозной коэффициент передачи по напряжению:

 (2.30)

Коэффициент передачи по напряжению всего усилителя определяется по формуле

*KU= KU1\* KU2*=500 (2.31)

Сквозной коэффициент передачи по напряжению KE всего усилителя определяется аналогично:

KЕ= KЕ1\* KU2=310 (2.32)

Входное сопротивление усилителя определяется входным сопротивлением входного каскада, а выходное – выходным сопротивлением оконечного каскада.

Постоянные времени в области нижних частот, связанные с разделительными конденсаторами Ср1, Ср2, определяются по формулам:

τН1=Ср1\*(Rг+ RВХ1)=13 мс (2.33)

τН2=Ср2\*(RВЫХ2+ Rн)=20 мс (2.34)

Постоянная времени в области нижних частот, связанная с блокировочным конденсатором Сэ, определяется по формуле:

τН3=СэRэ=30 мс (2.35)

Эквивалентная постоянная времени в области нижних частот равна

 (2.36)

где *τНi,* *τНj* - эквивалентные постоянные времени каскада в области нижних частот связанные с i-м разделительным и j-м блокировочным и конденсаторами соответственно. *τН*=10 мс

Нижняя частота среза определяется по формуле:

 (2.37)

В усилителе имеются три постоянных времени в области верхних частот, связанные с входными цепями входного и оконечного транзисторов и емкостью нагрузки:

*τВi=Сi\*Ri,* (2.38)

где Сi – емкость i-го узла относительно общего провода,

Ri – эквивалентное сопротивление i-го узла относительно общего провода.

Входная емкость транзистора в схеме с общим эмиттером равна:

 (2.39)

 (2.40)

*С01=*70 пФ, С02=37 пФ.

n (2.41)

 (2.42)

 (2.43)

Эквивалентная постоянная времени в области верхних частот равна

 (2.44)

*τВ*=75 нс

Верхняя частота среза определяется по формуле:

 (2.45)

 *fВ*=2 МГц

**Литература**

1. . Войшвилло. Г. В. Усилительные устройства / Г. В. Войшвилло. — М. : Радио и связь, 1983.
2. . Титце, У. Полупроводниковая схемотехника. / У. Титце, К. Шенк. — М. : Мир, 1982.
3. . Галкин, В. И. Полупроводниковые приборы : справочник / В. И. Галкин, А. Л. Булычев, В. А. Прохоров. — 2-е изд. — Минск : Беларусь, 1987.