# Задание на курсовую работу

**Формулировка задания**

Спроектируйте усилитель с параметрами, заданными в таблице 1.

Таблица 1

Варианты технических заданий (ТЗ) для курсовой работы

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | ***Рн*** | ***Rн*** | ***ЕГ*** | ***RГ*** | ***fн*** | ***fв*** | ***Tmax*** |
| **Вт** | **Ом** | **мВ** | **Ом** | **Гц** | **кГц** | **°С** |
| **1** | 13 | 3 | 50 | 5 | 80 | 12 | 30 |
| **2** | 14 | 4 | 45 | 10 | 100 | 3 | 35 |
| **3** | 13 | 5 | 40 | 15 | 120 | 14 | 40 |
| **4** | 12 | 6 | 35 | 20 | 100 | 15 | 40 |
| **5** | 11 | 7 | 30 | 25 | 80 | 16 | 30 |
| **6** | 10 | 8 | 25 | 30 | 75 | 15 | 25 |
| **7** | 9 | 9 | 20 | 35 | 70 | 14 | 30 |
| **8** | 8 | 10 | 15 | 40 | 65 | 15 | 30 |
| **9** | 7 | 11 | 10 | 45 | 60 | 16 | 35 |
| **10** | 6 | 12 | 5 | 50 | 55 | 17 | 45 |
| **11** | 2 | 9 | 1 | 1000 | 50 | 18 | 50 |
| **12** | 1 | 13 | 2 | 900 | 55 | 17,5 | 50 |
| **13** | 1 | 1 | 3 | 800 | 60 | 17 | 45 |
| **14** | 2 | 3 | 4 | 700 | 65 | 16,5 | 45 |
| **15** | 3 | 4 | 5 | 600 | 70 | 16 | 40 |
| **16** | 3,5 | 5 | 6 | 500 | 75 | 15 | 35 |
| **17** | 4 | 4 | 7 | 400 | 80 | 5 | 35 |
| **18** | 4,5 | 4 | 8 | 300 | 85 | 15 | 40 |
| **19** | 5 | 4 | 9 | 200 | 90 | 14,5 | 40 |
| **20** | 5,5 | 5 | 10 | 100 | 95 | 14 | 35 |
| **21** | 6 | 4 | 15 | 90 | 100 | 13,5 | 40 |
| **22** | 6,5 | 5 | 20 | 80 | 110 | 13 | 35 |
| **23** | 7 | 4 | 25 | 70 | 120 | 12 | 35 |

**Рекомендации по выполнению задания**

Структурно усилитель (рис. 1) обычно состоит:

* из одного или двух каскадов предварительного усиления (ПУ), работающих в режиме А; их число уточняется по мере расчёта усилителя;
* предоконечного каскада (ПК), работающего в режиме А;
* оконечного каскада (ОК), работающего в режиме АВ или В.



Рис. 1. Структура усилителя

Проектирование усилителя предлагается проводить поэтапно.

Этапы:

1) выбор принципиальных схем каскадов (в данной курсовой работе (КР) схема задана (рис. 2), её надо приводить в бланке работы);



Рис. 2. Принципиальная схема оконечного и предоконечного каскадов

2) расчёт оконечного каскада;

3) расчёт радиатора охлаждения;

4) расчёт предоконечного каскада;

5) расчёт каскадов предварительного усиления;

6) расчёт ёмкостей конденсаторов;

7) оформление КР.

**Расчёт оконечного каскада**

Действия включают выбор напряжения питания, выходных транзисторов *VT*2 и *VT*3 по величинам рассеиваемой мощности и сопротивлению нагрузки.

Расчёт начинается с выбора напряжения питания оконечного каскада. Исходя из заданных в ТЗ мощности *РH* и сопротивления нагрузки *RH*, находят амплитуды синусоидальных колебаний напряжения *UHm* и тока *IНm* на нагрузке. Им соответствуют амплитуды напряжения *UКm* на коллекторе транзистора одного плеча и тока *IКm*. В соответствии с формулой (1):

 (1)

амплитуда напряжения на транзисторе вычисляется по формуле:

. (2)

В предварительном расчёте полученное значение *UКm* необходимо разделить на коэффициент *k*1 использования питающего напряжения 0,8–0,9 и результат удвоить. Это делается потому, что транзисторы *VT*2, *VT*3 показанного на рис. 2 усилителя работают на половине напряжения источника питания, формируя каждый лишь по одному полупериоду напряжения на нагрузке. При этом часть *UКЭН* напряжения даже при максимальном открытии транзистора падает на нём: на обычных транзисторах это 0,2–0,4 В, а на составных – 1–1,2 В. Кроме того, для уменьшения нелинейных искажений сигнала транзисторам *VT*2, *VT*3 необходимо задавать начальное, то есть имеющееся между базой и эмиттером при отсутствии входного сигнала, напряжение смещения *Uсм*0: для обычных транзисторов это 0,5–0,7 В, а для составных – 1,3–1,5 В. Исходя из этого предварительно определяют *ЕП*:

. (3)

Полученное значение необходимо округлить до значения из стандартного ряда (5, 6, 9, 12, 15, 18, 20, 24, 27, 30, 35, 40, 48, 54, 60) в сторону увеличения. Это значение уточняют при графоаналитическом расчёте выходного каскада. Уточнение осуществляют при построении нагрузочной прямой на графике семейства выходных характеристик транзистора (рис. 3), но сначала его надо выбрать.



Рис. 3. Выходные характеристики транзисторов *VT*2, *VT*3

Выбор комплементарной пары транзисторов *VT*2, *VT*3, то есть имеющих одинаковые характеристики: максимальные токи коллектора, максимальные напряжения коллектор – эмиттер, входные и выходные характеристики, максимальную мощность рассеивания и т. д., осуществляют по величинам напряжения питания, максимального постоянного тока коллектора и максимального постоянного напряжения коллектор-эмиттер. Эти величины не должны превышать паспортные значения.

Все параметры выбранных транзисторов приводятся в бланке курсовой работы в виде таблицы. Входная и выходные характеристики из справочников приводятся в бланке КР в графической форме в масштабе, достаточном для точных графических построений.

После корректировки величин *UКm* и *IКm* проводят перерасчёт выходной мощности на нагрузке при использовании выбранных транзисторов и выбранного напряжения *ЕП*:

. (4)

Полученная мощность должна быть не меньше, чем в ТЗ. Превышение заданной мощности допускается не более чем на 10 %. Если это условие не выполняется, то необходимо подобрать другие транзисторы или изменить напряжение питания.

**Расчёт радиатора охлаждения**

Площадь *S* поверхности радиатора охлаждения при естественном конвективном теплообмене может быть определена по приближённой формуле:

, (5)

где *ТKmax* – максимально допустимая температура корпуса транзистора (паспортная величина), °C;

*ТCmax* – максимальная температура окружающей среды (задана в ТЗ), °C;

*РК* – мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора, Вт;

*RПК* – тепловое сопротивление переход – корпус транзистора, °C/Вт.

Рассеиваемая одним транзистором мощность *РК* определяется как половина разности полной мощности *Р*0, потребляемой из источника при среднем значении синусоидального тока *Iср*, и выделяющейся в нагрузке *РН:*

, (6)

где . Если расчетная мощность больше справочной, то производится расчёт радиатора.

Тепловое сопротивление корпус транзистора – охладитель *RПК* зависит от площади их контакта, наличия изолирующей прокладки между ними и теплопроводной силиконовой смазки.

В таблице 2 для справки приведены несколько значений контактных тепловых сопротивлений корпус транзистора – радиатор при наличии смазки и без неё.

Таблица 2

Тепловое сопротивление перехода транзистор – радиатор

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Тип**  **корпуса** | **Тип изолирующей**  **прокладки** | ***RПК* со смазкой,**  °**C/Вт** | ***RПК* без смазки,**  °**C/Вт** |
| ТО-3 | Без прокладки | 0,1 | 0,3 |
| Слюда (50–100 мкм) | 0,5–0,7 | 1,2–1,5 |
| Фторопласт | 0,7–0,8 | 1,25–1,45 |
| ТО-ЗРL | Без прокладки | 0,1–0,2 | 0,4–1,0 |
| Слюда (50–100 мкм) | 0,5–0,7 | 1,2–1,5 |
| ТО-66 | Без прокладки | 0,15–0,2 | 0,4–0,5 |
| Слюда (50–100 мкм) | 0,6–0,8 | 1,5–2,0 |
| ТО-220АВ | Без прокладки | 0,3–0,5 | 1,5–2,0 |
| Слюда (50–100 мкм) | 2,0–2,5 | 4,0–6,0 |

**Расчёт предоконечного каскада**

Расчёт начинается с выбора транзистора *VT*1 каскада по мощности.

На линейном участке входной характеристики (рис. 4) транзисторов оконечного каскада откладывают *IБm* и *IБсм*0 и находят *UБЭm*. Входная характеристика транзистора в справочниках обычно приводится для режима с общим эмиттером. Так как в схеме (рис. 2) выходные транзисторы включены по схеме с общим коллектором, то наклон входной характеристики в её случае уменьшают в 1+β раз, где β – коэффициент передачи тока выбранного транзистора в схеме с общим эмиттером.

Входная мощность *Рвх* каскада вычисляется по формуле:

. (7)

Исходя из полученного значения мощности *Рвх*, а также напряжения питания и максимального тока коллектора, который должен быть не менее *ЕП* / (*RК + RСМ + RЭ*), выбирают транзистор *VT*1 предоконечного каскада.



Рис. 4. Входная характеристика транзисторов *VT*2, *VT*3

Затем необходимо к семейству выходных характеристик транзистора *VT*1 (рис. 5) добавить эпюру входного тока транзисторов *VT*2 и *VT*3 так, чтобы она проецировалась на линейные участки выходных характеристик симметрично относительно точки, расположенной над половиной напряжения питания *ЕП*. Эта линия является для транзистора *VT*1 нагрузочной по постоянному току и проходит через точку *UКЭ* = *ЕП* и точку с координатами *IK*= *IK*0 и *UКЭ*= *ЕП /* 2, то есть под углом *R*=. Величина тока *IK*0 покоя транзистора *VT*1 должна быть больше *IБm* + *IБсм*0 – максимального значения базового тока транзисторов *VT*2, *VT*3 оконечного каскада.



Рис. 5. Выходные характеристики транзистора *VT*1

В целом работа предоконечного каскада по переменному току несимметрична. Нагрузочная характеристика при работе этого каскада на транзистор *VT*2 проходит от точки 0 вправо, а при работе на транзистор *VT*3 – от точки 0 влево. Однако *RК* много больше *RСМ*, и достаточно точным является определение нагрузочной прямой одним сопротивлением *R*~:

. (8)

Необходимо убедится, что напряжение 2*UKЭ1m* попадает справа в интервал нагрузочной прямой по переменному току, где ток коллектора положителен, и не выходит слева за границы линейных участков выходных характеристик. Если этого не произошло, следует выбрать большей величину *ЕП* или выбрать для оконечного каскада составные транзисторы как имеющие большее усиление и меньший входной ток.

Как и для оконечного каскада, все параметры выбранного транзистора *VT*1 приводятся в бланке КР в виде таблицы. Входная и выходные характеристики из справочников приводятся в графической форме.

Сопротивления резисторов предоконечного каскада рассчитываются по следующим формулам:

, (9)

, (10)

, (11)

, (12)

, (13)

где *IЭ*0, *I Б*0 *–* токи эмиттера и базы *VT*1 в режиме покоя: *I Б*0 = *IKсм*0 / β1 (где β1 – коэффициент передачи тока транзистора *VT*1), *IЭ*0 = *I Б*0(1+β1).

Значения токов следует уточнить по семейству выходных характеристик (рис. 5). Величина *UБЭ*0 напряжения база – эмиттертранзистора *VT*1 определяется по его входной характеристике (рис. 6).



Рис. 6. Входная характеристика транзистора *VT*1

После подстановки сопротивлений резисторов из стандартного ряда производится перерасчет токов покоя ПК. Чаще всего *RСМ* выполняют в виде одного или двух диодов в прямом включении. Величина прямого падения напряжения на этих диодах должна быть близка к величине *2UБсм0* транзисторов ОК. Диоды осуществляют температурную стабилизацию оконечного каскада усилителя. При этом важно, чтобы они были из того же полупроводникового материала, что и транзисторы оконечного каскада.

Для определения общего коэффициента усиления ПК и ОК необходимо для точек 1 и 2 на рис. 5 определить значения тока базы транзистора *VT*1 и отложить их на рис. 6. Соответствующее амплитуде тока базы транзистора *VT*1 напряжение *UБЭ1m* является для пары этих каскадов максимальным входным. И их общий коэффициент усиления по напряжению вычисляется следующим образом:

. (14)

Входное сопротивление предоконечного каскада является нагрузкой для ПУ и рассчитывается по формуле:

, (15)

где *rвх* – входное сопротивление *VT*1, равное дифференциальному сопротивлению на рабочем участке входной характеристики (рис. 6): *rвх* = *UБЭ1m* / *IБ1m*.

**Расчёт каскадов предварительного усиления**

Для уменьшения потерь входного сигнала необходимо обеспечить согласование источника сигнала со входом усилителя по напряжению, то есть обеспечить достаточно большое входное сопротивление каскада ПУ. При недостаточной величине этого входного сопротивления необходимо его увеличивать за счёт резистора в цепи эмиттера, не зашунтированного конденсатором, и размещением источника сигнала между базой транзистора и делителем *R*1*П*, *R*2*П*, как показано на рис. 2. В некоторых случаях приходится выполнять ПУ двухкаскадным: у первого из них – необходимое большое входное сопротивление, у второго – недостающее у первого каскада усиление. Необходимо помнить, что общий коэффициент усиления по напряжению цепочки каскадов равен произведению коэффициентов усиления её элементов.

Необходимый коэффициент усиления по напряжению каскада ПУ рассчитывается по выражению:

. (16)

Порядок расчёта ПУ приведен ниже.

Выбирают токи покоя коллектора, базы и эмиттера транзистора:

*IКП*0 > 1,5(*IБ*1*m* + *IБ*0);

*IБП*0 = *IКП*0 / β*П*;

*IЭП*0 = *IБП*0 + *IКП*0,

где β*П* – коэффициент передачи тока транзистора каскада ПУ.

Находят значение сопротивлений каскада:

, (17)

, (18)

, (19)

, (20)

где *RЭ*Σ – суммарное сопротивление в цепи эмиттера;

*UБЭП*0 – напряжение база – эмиттер покоя транзистора *VT*1 каскада ПУ. Следует помнить, что максимальный коэффициент усиления каскада достигается при *RКП* > 3*RвхПК*

Далее пересчитывают входное сопротивление каскада ПУ через входное сопротивление каскада ПК и находят сопротивление в цепи эмиттера, обеспечивающее требуемый коэффициент усиления по переменному току *R′ЭП*. После чего находят сопротивление *RЭП*:

, (21)

, (22)

. (23)

**Расчёт ёмкостей разделительных и шунтирующих конденсаторов**

Разделительные ёмкости *СГ*, *СР*, *СРН* рассчитывают по общей формуле:

, , . (24)

Блокировочные конденсаторы *СЭП*, *СЭ* в цепях эмиттеров рассчитывают исходя из условия 10*ХСЭ* < *RЭ* на нижней частоте:

, . (25)