Московский государственный

технический университет им. Н.Э. Баумана

Калужский филиал

Кафедра «Компьютерные системы и сети»

(ЭИУ2-КФ)

Пояснительная записка к курсовой работе

по курсу «Электроника»

«Расчет усилительного резистивного каскада на биполярных транзисторах»

Калуга, 2008

**Введение**

Наиболее важное назначение электронных приборов - усиление электрических сигналов. Устройства, предназначенные для выполнения этой задачи, называются электронными усилителями.

Усилитель (рис. 1) - это электронное устройство, управляющее энергией, поступающей от источника питания к нагрузке. Причем мощность, требующаяся для управления, как правило, намного меньше мощности, отдаваемой в нагрузку, а формы входного (усиливаемого) и выходного (на нагрузке) сигналов совпадают.

ИСТОЧНИК

ПИТАНИЯ

НАГРУЗКА

УСИЛИТЕЛЬНЫЙ

ЭЛЕМЕНТ

ИСТОЧНИК

УСИЛИВАЕМОГО

СИГНАЛА

5C9C6A1

Рис. 1. Схематичное представление работы усилителя

Усилительные устройства широко используются в автоматике и телемеханике, в следящих, управляющих и регулирующих системах, счетно-решающих и вычислительных машинах, контрольно-измерительных приборах, бытовой радиоаппаратуре и т.д.

Важнейшими техническими показателями являются: коэффициент усиления (по напряжению, току и мощности), входное и выходное сопротивления, выходная мощность, диапазон усиливаемых частот, частотные, фазовые и нелинейные искажения.

Большинство источников усиливаемого сигнала развивают очень низкое напряжение. Подавать его непосредственно на каскад усиления мощности не имеет смысла, т.к. при слабом управляющем напряжении невозможно получить сколько-нибудь значительные изменения выходного тока, а, следовательно, и выходной мощности. Поэтому в состав структурной схемы усилителя, кроме выходного каскада, отдающего требуемую мощность полезного сигнала в нагрузку, входят предварительные каскады усиления.

Эти каскады принято классифицировать по характеру сопротивления нагрузки в выходной цепи транзистора. Наибольшее применение получили резистивные усилительные каскады, сопротивлением нагрузки которых служит резистор.

В каскадах предварительного усиления на биполярных транзисторах чаще других используется схема с общим эмиттером (ОЭ), которая обладает высоким коэффициентом усиления по напряжению и мощности, сравнительно большим входным сопротивлением и допускает использование одного общего источника питания для цепей базы и коллектора.

**Резистивный каскад на биполярном транзисторе**

Простейшая схема резистивного усилительного каскада с общим эмиттером и питанием от одного источника показана на рис. 2. Входной сигнал поступает на базу и изменяет ее потенциал относительно заземленного эмиттера. Это приводит к изменению тока базы, а, следовательно, к изменению тока коллектора и напряжения на нагрузочном сопротивлении RK. Разделительный конденсатор Сp1служит для предотвращения протекания постоянной составляющей тока базы через источник входного сигнала. С помощью конденсатора Сp2 на выход каскада подается переменная составляющая напряжения Uкэ изменяющаяся по закону входного сигнала, но значительно превышающая его по величине. Важную роль играет резистор RБ в цепи базы, обеспечивающий выбор исходной рабочей точки на характеристиках транзистора и определяющий режим работы каскада по постоянному току.



Рис. 2. Простейшая схема резистивного усилительного каскада с общим эмиттером

Для выяснения роли резистора RБ  обратимся к рис. 3, иллюстрирующему процесс усиления сигнала схемой с общим эмиттером. В принципе процесс усиления можно отразить следующей взаимосвязью электрических величин.

Um ВХ  I Б m IК m IК m RК (Um КЭ = EК - IК m RК ) = U m ВЫХ

Действительно, рассматривая вначале рис. 3, а, а затем рис. 3, б, можно убедиться в том, что напряжение входного сигнала с амплитудой (Um ВХ=UБЭ m) синфазно изменяет величину тока базы. Эти изменения базового тока вызывают в коллекторной цепи пропорциональные изменения тока коллектора и напряжения на коллекторе, причем амплитуда коллекторного напряжения (с учетом масштаба по оси абсцисс) оказывается значительно больше амплитуды напряжения на базе. Следует обратить внимание на то, что напряжения сигнала на входе и на выходе каскада сдвинуты между собой по фазе на 180°, т. е. находятся в противофазе.

Это означает, что рассматриваемый каскад, не нарушая закон изменения сигнала (в нашем частном случае сигнал изменяется по синусоидальному закону), в то же время поворачивает его фазу на 180°.



Рис. 3. Графическое пояснение процесса усиления сигнала схемой с общим эмиттером

Для получения наименьших искажений усиливаемого сигнала рабочую точку (точку покоя) П следует располагать в середине отрезка АВ нагрузочной прямой, построенной в семействе выходных характеристик транзистора (режим усиления класса А). Из рис. 3, б видно, что положение рабочей точки П соответствует току смещения в цепи базы IБП . Для получения выбранного режима необходимо в усилителе обеспечить требуемую величину тока смещения в цепи базы. Для этого и служит резистор RБ в схеме рис. 2.

Схема, приведенная на рис. 2, получила название схемы с фиксированным базовым током. Смещение фиксированным током базы отличается минимальным числом деталей и малым потреблением тока от источника питания. Кроме того, сравнительно большое сопротивление резистора RБ (десятки кОм) практически не влияет на величину входного сопротивления каскада. Однако этот способ смещения пригоден лишь тогда, когда каскад работает при малых колебаниях температуры транзистора. Кроме того, большой разброс и нестабильность параметра β даже у однотипных транзисторов делают режим работы каскада весьма неустойчивым при смене транзистора, а также с течением времени.

Более эффективной является схема с фиксированным напряжением смещения на базе (рис. 4). В этой схеме резисторы R'Б и R"Б , подключенные параллельно источнику питания ЕК , составляют делитель напряжения.

При этом повышается стабильность режима работы схемы, так как изменения тока в цепях эмиттера и коллектора транзистора незначительно влияют на величину напряжения смещения.



Рис. 4. Схема резистивного каскада с фиксированным напряжением смещения

Сопротивление R"Б делителя включено параллельно входному сопротивлению транзистора. Кроме того, пренебрегая малым внутренним сопротивлением источника питания, можно считать, что R'Б и R"Б включены параллельно друг другу. Поэтому делитель, образованный резисторами R'Б и R"Б должен обладать достаточно большим сопротивлением (порядка нескольких кОм). В противном случае входное сопротивление каскада окажется недопустимо малым.

При построении схем транзисторных усилителей приходится принимать меры для стабилизации положения рабочей точки на характеристиках. Основной дестабилизирующий фактор, нарушающий устойчивую работу транзисторной схемы, - влияние температуры. Существуют различные способы термостабилизации режима работы транзисторных каскадов.

Наибольшее распространение получила схема термостабилизации режима, приведенная на рис. 5. В этой схеме навстречу фиксированному прямому напряжению смещения, снимаемому с резистора R"Б, включено напряжение, возникающее на резисторе RЭ при прохождении через него тока эмиттера. Пусть по какой-либо причине, например при увеличении температуры, постоянная составляющая коллекторного тока возрастает. Так как IЭ =IК+IБ, то увеличение тока IК приведет к увеличению тока эмиттера IЭ и падению напряжения на резисторе RЭ. В результате напряжение между эмиттером и базой UБЭ уменьшится, что приведет к уменьшению тока базы IБ, а следовательно, и тока IК.

Наоборот, если по какой либо причине коллекторный ток уменьшится, то уменьшится и напряжение на резисторе RЭ, а прямое напряжение UБЭ  возрастет. При этом увеличится ток базы и ток коллектора.



Рис. 5. Схема резистивного каскада с фиксированным напряжением смещения

В большинстве случаев резистор RЭ шунтируется конденсатором CЭ достаточно большой емкости (порядка десятков микрофарад). Это делается для отвода переменной составляющей тока эмиттера от резистора RЭ.

**Исходные данные для проектирования усилителя**

1. Полоса рабочих частот

f = f В – f Н ,



где f В – верхняя частота (кГц)

fН – нижняя частота (Гц).

1. Коэффициент частотных искажений на нижней и верхней частотах полосы пропускания, МН и МВ , соответственно (дБ).
2. Максимальное действующее значение напряжения выходного сигнала на нагрузке, UВЫХ  (В).
3. Сопротивление нагрузки RН (Ом).
4. Выходное (внутренние) сопротивление генератора (источника eГ) усиливаемых сигналов, RГ  (ОМ).
5. Рабочий температурный диапазон, t 0 C.
6. Коэффициент сглаживания фильтра, q.
7. Тип проводимости биполярного транзистора (p-n-p или n-p-n).

**Требования**

1. Выбрать транзистор и обосновать выбор.
2. Определить значение напряжения и полярность источника питания EК.
3. Рассчитать:

- сопротивления и мощности резисторов RК , RЭ , R1 , R2 , RФ;

- емкости конденсаторов C1 , C2 , CЭ , CФ.

4. Определить параметры усилителя:

- коэффициент усиления по току КI ;

- коэффициент усиления по напряжению КU ;

- коэффициент усиления по мощности КP ;

- входное сопротивление каскада RВХ ;

- выходное сопротивление каскада RВЫХ .

5. Определить коэффициент нелинейных искажений усилителя (рассчитать КГ ).

6. Оформить принципиальную электрическую схему усилителя (ЭЗ) и перечень элементов к ней (ПЭЗ) в соответствие с ЕСКД.

**Порядок расчета**



Рис. 6. Схема резистивного каскада усилителя

Для выданного варианта задания рассчитать резистивный каскад усилителя (рис. 6) на биполярном транзисторе с заданным типом проводимости (p-n-p или n-p-n), включенным по схеме с общим эмиттером, имеющим эмиттерную стабилизацию точки покоя, работающем в режиме усиления класса А и имеющем сглаживающий фильтр по цепи питания элементов смещения (задания) рабочей точки.

Исходные данные приведены в таблице 1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип транзистора | p-n-p |  |  |
| Нагрузка | 250 | [Ом] | Rн |
| Сопротивление генератора | 120 | [Ом] | Rг |
| Нижняя частота усиления | 40 | [Гц] | fн |
| Верхняя частота усиления | 8200 | [Гц] | fв |
| Минимальная температура окружающей среды | -5° | [° С] | tмин |
| Максимальная температура окружающей среды | +50° | [° С] | tмакс |
| Выходной сигнал | 8 | [В] | Uвых |
| Коэффициент сглаживания фильтра | 7 |  | q |
| Коэффициент частотных искажений | 3 | [дБ] | Мн |
| Коэффициент частотных искажений | 4 | [дБ] | Мв |

*1.Расчет усилительного каскада*

1. Амплитудное значение UВЫХ m переменной составляющей напряжения выходного сигнала на нагрузке:

UВЫХ m = \* UВЫХ =;



2. Сопротивление резистора RК выбирается предварительно из соотношения:

R К = (3 5)\*R Н == 1100 (Ом);



Принимаем стандартное значение R К =1100 (Ом).

3. Определяется сопротивление нагрузки RН по переменной составляющей усиливаемого сигнала:



RН\* = R К || RН = =



4. Амплитудное значение переменной составляющей тока IКm через транзистор:

IК m = = ;



5. Для обеспечения выполнения требований I.1 и I.4 при работе усилителя в классе А, необходимо выполнение следующих условий:

UК max Э 2,5 \* UВЫХ m = 2,5\*11,314=28.284 (В);



IК max Э  3 \* IК m = 3\*0,056=0,167 (А);



PК max Э  6,25 \* UВЫХ m \* IК m = 6,25\*11,314\*0,056=3,927 (Вт) , где



U К max Э =28,284 (В), IК max Э=0,167 (А), PК max Э=3,927 (Вт)–

максимальные значения напряжения, тока и мощности, которые должен обеспечивать транзистор VT.

6. Выбор транзистора VT должен производиться с учетом коэффициента нагрузки (70%) по названным выше параметрам, поэтому транзистор VT выбирается по следующим критериям:

=;



=;



=.



UК Э max = 40,406 (В)

IК max = 0,238 (А)

PК max = 7,855 (Вт)

На основании полученных данных выбираем транзистор для максимальной температуры из указанного диапазона. Транзистор КТ820А наиболее подходит, по характеристикам полученных данных.

UК Э max= 50 (В),

IК max= 0,5 (А),

PК max= 10 (Вт),

h 21Э ( β ) = 40.

Проведем проверку выполнения условия:

Mв=100,05\*4 =1,585

==6669 (Гц),



где - верхняя предельная частота транзистора (минимальное ее значение).



7. На выходных характеристиках IК = f (UК Э ) транзистора строится линия нагрузки по двум точкам:

IК = 0; UКЭ = EК = UК max Э = 28,284(В)(режим холостого хода);

UК = 0; IК = IК max Э = 0,167(А)(режим короткого замыкания);

8. Выбор точки П покоя (при работе усилителя в режиме класса А) производиться в середине отрезка АВ. Перпендикуляры, опущенные на оси UК Э  и IК из точки П, дадут значения IК П = 0,084 (А) и UК Э П = 14,142 (В), одновременно определяется и значение IБ П=0,002 (А).

9. На входных

ВАХ - IБ = f (UБ Э ) при IБ  = IБП =0,002(А) и UК Э 0, определяется UБ Э П = 0,64 (В)



10. Сопротивления резисторов в цепях коллектора RК и эмиттера RЭ вычисляются исходя из того, что:

=,



при этом следует учесть рекомендацию:



RK=(5ч7)\*RЭ; RЭ=22 (Ом), RK=150 (Ом)

11. Из анализа схемы усилителя, можно получить соотношения для расчета сопротивлений резисторов R1, R2 и RФ;



где:

UБП=UБЭП+UЭП=UБЭП+IЭП·RЭ=0,64+0,084\*22=2,477 (В);

IЭП=IКП=0,084 (А);

UФ=(0,1ч0,2)EК=0,15\*28,284=4,243 (В);

IД - ток делителя:

IД =(5ч10)IБП =10\*0,002=0,02 (А)

rВХ - входное сопротивление транзистора по переменному току;

rВХ=;



∆UБЭ=0,06(В) и ∆IБ=0,0005(А) - определяются по входной характеристике.

При определении rВХ по входным характеристикам транзистора приращения ∆U и ∆I находят на участке ВАХ IБ= f (UБЭ) при UКЭ≠0, прилегающим к точке покоя П (в окрестности точки покоя П).

Для проверки правильности расчетов вычисляют значение эквивалентного сопротивления RЭКВ в цепи базы транзистора:

==310 (Ом)



Необходимо, чтобы выполнялось условие:

RЭКВ=(2ч5)·rВХ.;

RЭКВ=2,58\* rВХ =2,58\*120= 310 (Ом)

12. Емкость конденсатора СЭ рассчитывается исходя из того, что для нижней частоты f Н полосы пропускания XСЭ≈0,1RЭ, откуда:

==2000 мкФ



13. Входное сопротивление усилительного каскада определяется:

=



14. Ёмкости конденсаторов С1 и С2 определяются:

=



=



15. Ёмкость конденсатора СФ выбирают такой, чтобы на частоте f =50Гц промышленной сети выполнялось условие:

XСФ<<RФ.

Можно принять, что XСФ=0,1RФ, тогда

откуда =



где f=50Гц, но это без учета коэффициента сглаживания q.

16. Расчет СФ с учетом коэффициента сглаживания q:

а). Определяем нагрузку фильтра:

=



б). Определяем коэффициент KФ:

=



в). Значение емкости СФ с учетом коэффициента сглаживания q будет:

= , где f =50Гц.



17. Коэффициент усиления по напряжению будет:

=,



где RН~==



βtoC =40 - выбирается при минимальной температуре из указанного диапазона.

18. Коэффициент усиления по току будет:

=



19. Коэффициент усиления по мощности:

КР=КI·KU=15\*33,33=500

20. Выходное сопротивление:

RВЫХ ≈RК=150 (Ом).

**2. Определение коэффициента нелинейных искажений усилителя (КНИ)**

1. КНИ оценивается по коэффициенту гармоник (КГ), расчет которого производится после разработки и определения параметров элементов схемы усилительного каскада.

Если известно внутреннее сопротивление генератора (источника) усиливаемых сигналов (что является в нашем случае заданным, сопротивление RГ), можно рассчитывать КГ методом пяти ординат по сквозной динамической характеристике, построенной для известного значения RГ.

2. Для построения сквозной динамической характеристики используют нагрузочную прямую переменного тока (на выходных статических характеристиках) и входную характеристику транзистора.

На отрезке АВ нагрузочной прямой определяют граничные точки 1 и 5, которые находятся на проекции амплитудных значений тока коллектора Iкm (+Iкmи -Iкm) или амплитудных значений переменной составляющей напряжения (+Uвыхm и -Uвыхm). Остальные точки (2ч4) определяются как результат пересечения нагрузочной прямой со статическими выходными характеристиками (соответствующих конкретным базовым токам).

Для каждой точки (1ч5) находят значения тока коллектора (iК1чiК5). Далее определяют амплитуды переменных составляющих тока и напряжения входного сигнала. Для этого на входную статическую характеристику транзистора [iБ= f (UБЭ)], включенного по схеме с ОЭ, переносят точки пересечения нагрузочной прямой со статическими выходными характеристиками транзистора (получают точки 1'ч5'). Опустив перпендикуляры из точек 1'ч5' на горизонтальную ось (UБЭ) определяют амплитуды переменных составляющих напряжения входного сигнала (UБЭ1чUБЭ5).

Затем, для каждой из этих точек вычисляют э.д.с. источника (генератора) усиливаемых сигналов по формуле:

eГ = UБЭ+iБ·RГ;=

(UВХ) (iВХ)

и результаты вычислений сводят в таблицу, чтобы получить координаты точек (1"ч7") для построения сквозной динамической характеристики.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № точки | iК(iВЫХ), мА | IБ(iВХ), мА | UБЭ(UВХ), В | eГ = UБЭ+iБ·RГ, В |
| 1" | iК1=140 | iБ1(iБmax)=3,5 | UБЭ1(UВХmax)=0,73 | eГ1(max) = 1,15 |
| 2" | iК2=120 | iБ2=3 | UБЭ2=0,7 | eГ2 = 1,06 |
| 3"(П) | iК3=84 | iБ3=2,1 | UБЭ3=0,64 | eГ3 = 0,892 |
| 4" | iК4=60 | iБ4=1,5 | UБЭ4=0,55 | eГ4 = 0,73 |
| 5" | iК5=28 | iБ5=0,7 | UБЭ5=0,4 | eГ5 = 0,484 |

eГ1(max) =1,2+54\*55\*10-3=1,15 (В)

eГ2 = 1,1+40\*55\*10-3=1,06 (В)

eГ3 = 1+32\*55\*10-3=0.892 (В)

eГ4 = 0,85+20\*55\*10-3=0.73 (В)

eГ5(min) = 0.7+10\*55\*10-3=0.484 (В)

3. По данным таблицы строится сквозная динамическая характеристика:

iК= f (eГ).

Как правило, полученная характеристика имеет слегка выраженный S-образный характер.

4. При расчете коэффициента гармоник (КГ) используем наиболее распространенный метод пяти ординат (или метод Клина).

5. При реализации этого метода с помощью сквозной динамической характеристики определяют некоторые значения тока коллектора (Imin, I2, I0, I1, Imax), которые используют при расчете коэффициента гармоник. (Повторяем график сквозной динамической характеристики)

На сквозной динамической характеристике отмечаем две точки, соответствующие max и min (iК1 и iК5) выходного тока (тока коллектора - Imax и Imin) и проектируем их на горизонтальную ось (отрезок aд).

Затем этот отрезок делим на четыре равные части (аб=бв=вг=гд) и находим по графику значения токов I1=138(мА), I0=97(мА), I2=52(мА).

6. По методу Клина коэффициент гармоник однотактного каскада, работающего в режиме А, определяется по формуле:

=



где I1m, I2m, I3m, I4m - первая, вторая, третья и четвертая, соответственно, гармоники выходного сигнала.

7. Гармоники выходного сигнала, в свою очередь, рассчитываются по следующим формулам:

=



=



=



= =



8. Среднее значение тока может быть определено:

=



9. Правильность вычислений найденных токов можно проверить по формуле:

I1m+I2m+I3m+I4m+Iср=Imax.

Imax=140(мА)

I1m+I2m+I3m+I4m+Iср=59+(-3)+(-3,3)+2,3+85=140(мА)

10. Коэффициент гармоник КГ, полученный по формуле в п.2.6 выражают в %. При этом значения КГ, как правило, не должны превышать (3ч5)%.

КГ=8,5%

Приведём в соответствие позиционные обозначения элементов в расчетах ПЭЗ:

|  |  |
| --- | --- |
| Обозначение в ПЭЗ | Обозначение в расчетах |
| R1 | R1 |
| R2 | R2 |
| R3 | Rф |
| R4 | Rк |
| R5 | Rэ |
| C1 | Сф |
| C2 | С1 |
| C3 | С2 |
| C4 | Сэ |