

Курсовая работа

Расчет транзисторного усилителя

Цель работы. Изучение работы усилительных каскадов на биполярных транзисторах, освоение правилами их расчета (по постоянному току и графически), определение основных параметров, закрепление пройденного материала.

1.1. Общие сведения о транзисторном усилителе

Транзисторный усилитель предназначен для усиления электрических сигналов - входного напряжения. Усиление основано на изменении сопротивления транзистора под действием входного сигнала. Режим работы усилителя зависит от способа включения транзистора.

Способ включения транзистора будет определяться соединением его электродов с источником сигналов, общим проводом и нагрузкой. Для биполярного транзистора возможно включение по схеме с общим коллектором (ОК), общей базой (ОБ) или общим эмиттером (ОЭ). Аналогично возможно включение полевых транзисторов. При включении с общим коллектором входным электродом будет база, а выходным - эмиттер. В схеме с общей базой входной сигнал подают в эмиттерную цепь, а выходной - снимают с коллектора. При включении с общим эмиттером сигнал подают в базовую цепь, а снимают с коллектора. К этим электродам и подключают элементы связи и блокировочные элементы.

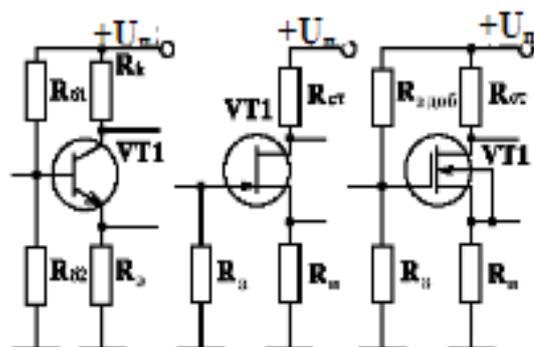
Схема с ОК (выходной ток - ток эмиттера, входной ток - ток базы) отличается большим входным сопротивлением и малым выходным. Усиления по току и мощности не дает.

Схема с ОБ (входной ток - ток эмиттера, выходной ток - ток коллектора) дает усиление по мощности меньшее, чем схема с ОЭ, но она лучше по частотным и температурным свойствам. В каскадах, где транзисторы включены с общим коллектором и общей базой инверсии сигнала не происходит.

Схема с ОЭ дает наибольшее усиление по мощности. Однако режим работы зависит от температуры, а усиление от частоты. Входной и выходной сигналы в этой схеме находятся в противофазе.

Расчет любого каскада начинается с выбора рабочей точки, определения элементов смещения и расчета каскада по постоянному току. Схемы подачи смещения и расчет каскадов по постоянному току для различных включений транзистора аналогичны и не зависят от выбора общего электрода у усилительного элемента по переменному току.

Наиболее часто применяется схема с общим эмиттером (истоком), поскольку она обеспечивает высокое напряжение по напряжению и мощности и, при принятии мер по температурной стабилизации, достаточно хорошие показатели при колебаниях температуры. Простейшим способом температурной стабилизации (при некотором уменьшении коэффициента усиления) является



включение в эмиттерную цепь сопротивления. В маломощных каскадах выбирают $R_э = (0,2 \dots 0,3) R_к$, $R_э = (0,2 \dots 0,3) R_{сг}$. В выходных мощных каскадах $R_э = (0,1 \dots 0,2) R_к$. Полевые транзисторы в выходных каскадах используют редко из-за их невысокой надежности и повышенного внутреннего сопротивления.

На рисунке показаны обобщенные схемы включения с общим эмиттером биполярного и с общим истоком полевого и МОП полевого транзистора.

1.2. Порядок работы и составления отчета

1. В соответствии с заданием провести разработку (выбор) схемы включения транзистора, определить тип транзистора, используемого в усилителе, провести и письменно обосновать электрический расчет усилителя.
2. На основе относительных графиков построить графические характеристики усилителя и сделать графический расчет усилителя.
3. Убедиться в правильности сделанных расчетов.
4. Ответить на контрольные вопросы и подготовить отчет о работе.

1.3. Выбор режимов и расчет основных элементов и параметров усилителя

1.3.1. Выбор подкласса биполярного транзистора

Исходя из усиливаемой мощности усилителя и заданного частотного диапазона необходимо сделать и обосновать выбор подкласса и конкретного типа биполярного транзистора и обосновать этот выбор. Для выбора подкласса биполярного транзистора использовать справочные данные. Для предварительного выбора можно воспользоваться таблицей, в которой указаны примеры типовых представителей каждого подкласса.

Таблица 1

Характерные типы транзисторов

Разновидности биполярных транзисторов	Обозначение подкласса	Примеры
Маломощные ($P_{\text{макс}} < 0,3 \text{ Вт}$)	1	ГТ122, КТ127
Маломощные средней частоты ($f < 100 \text{ МГц}$)	2	КТ215
Маломощные высокой частоты и СВЧ ($f > 200 \text{ МГц}$)	3	КТ315, 1Т308

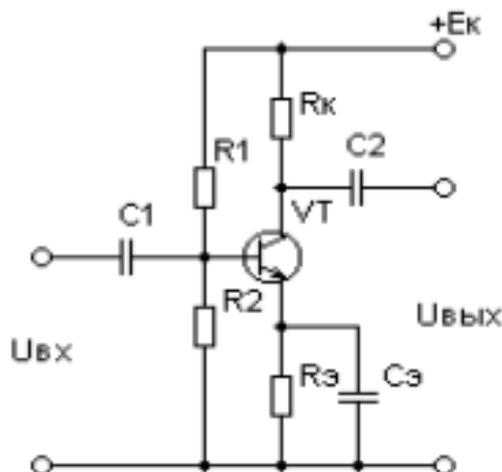
Средней мощности ($0,3\text{Вт} < P_{\text{макс}} < 1,5\text{Вт}$)	4	ГТ405
Средней мощности, высокой частоты ($0,3\text{Вт} < P_{\text{макс}} < 1,5\text{Вт}$)	6	ГТ712
Большой мощности низкой частоты ($P_{\text{макс}} > 1,5\text{Вт}$, $f < 10\text{МГц}$)	7	КТ702
Большой мощности средней частоты	8	КТ809
Большой мощности высокой частоты и СВЧ	9	2Т960

Необходимо принять во внимание, что транзистор выбирают исходя из следующих соображений:

- Коэффициент усиления $\beta_{\text{стат.}}$ ($h_{21э}$) должен быть больше необходимого коэффициента усиления, т. к. усиление будет ослаблено отрицательной обратной связью образуемой эмиттерным сопротивлением;
- Максимальный ток коллектора не должен превышать $I_{\text{км}}$ справочный допустимый;
- Высшая частота усиливаемого сигнала должна быть меньше предельной;
- Допустимая мощность рассеяния (в корпусе или с теплоотводом – в зависимости от условий работы) должна в 1,5...2 раза превышать максимально выделяемую;
- При выборе типа транзистора (по справочным данным) следует учитывать условия его работы. Например:
 - ГТ702 - работа в усилителях мощности низкой частоты, в импульсных схемах, ключевых схемах преобразователей напряжения, в схемах управляемых регуляторов;
 - КТ723 для работы в ключевых и линейных схемах в паре с КТ724, КТ724 для работы в ключевых и линейных схемах в паре с КТ723.

1.3.2. Выбор тока покоя транзистора и расчет эмиттерного и коллекторного сопротивлений

Конденсаторы C_1 и C_2 являются разделительными и предназначены для



отсечения постоянной составляющей - через них течет только переменный ток и постоянная составляющая источника сигнала не влияет на работу транзистора, а постоянная составляющая с коллектора не попадает в нагрузку.

Для того, чтобы обеспечить режим работы усилителя в режиме А, т.е. для получения максимально неискаженного сигнала, транзистор должен все время работать в активном режиме на линейном участке своей характеристики, т.е. не входить в насыщение и не

работать в режиме отсечки. Для этого точку покоя (при отсутствии входного сигнала) задают приблизительно в середине между максимальным (допустимым) и минимальным значениями по базовому или коллекторному току.

$$\text{Примем } I_{кп} = 0,5 I_{кн}.$$

$$\text{Тогда базовый ток покоя } I_{бп} = I_{кп} / h_{21}.$$

$$\text{Эмиттерный ток покоя } I_{эп} = I_{кп} + I_{бп}.$$

Напряжение покоя эмиттера (эмиттер - масса):

$$U_{эп} = (0,1 \div 0,2) E_c.$$

Напряжение покоя $U_{эп}$ и $U_{рп}$ принимают обычно равными, т.е.:

$$U_{эп} = U_{рп} = (E_c - U_{эп}) / 2.$$

Откуда:

$$R_k = U_{рп} / I_{кп};$$

$$R_э = U_{эп} / I_{эп}.$$

Определив расчетные величины сопротивлений необходимо задать их в соответствии с рядом номинальных значений Е12 и сделать после этого уточнение соответствующих токов и напряжений.

Определить мощность, выделяемую на транзисторе в режиме покоя (мощность рассеяния):

$$P_{пт} = U_{эп} I_{эп}$$

Проверить, что она в 1,5...2 раза меньше допустимой.

1.4. Расчет входной цепи транзистора

1.4.1. Сущность эффекта отрицательной обратной связи и расчёт емкости конденсатора в цепи обратной отрицательной связи

При отсутствии эмиттерной емкости $C_э$ при подаче на базу входного сигнала $U_{вх} = \Delta U_б$ напряжение на эмиттере повторяет напряжение на базе (поскольку $U_{бэ}$ остается практически постоянным, равным 0,6...0,7В), т.е.:

$$\Delta U_б = \Delta U_э,$$

откуда:

$$\Delta I_э = \Delta U_э / R_э^* = \Delta U_б / R_э^*,$$

где: $R_э^* = R_э + r_э$,

$r_э$ – внутренне сопротивление база-эмиттер.

Изменение же напряжения на коллекторе определяется изменением падения напряжения на коллекторном сопротивлении:

$$\Delta U_к = -\Delta I_к R_к.$$

Поскольку приблизительно $\Delta I_э = \Delta I_к$, то можно записать, что

$$\Delta U_к = -\Delta U_б (R_к / R_э^*).$$

Откуда коэффициент усиления по напряжению $K_U = \Delta U_к / \Delta U_б$ будет определяться соотношением между коллекторным и эмиттерным сопротивлением.

$$\Delta U_к / \Delta U_б = - (R_к / R_э^*).$$

Для уменьшения эффекта отрицательной обратной связи осуществляется шунтирование R_3 емкостью C_3 .

$$C_3 = \frac{(8 \div 10)}{2\pi f R_3},$$

где f – максимальная частота усиливаемого сигнала.

1.4.2. Расчёт входного делителя

Для задания режима работы используется делитель $R1-R2$, который задает рабочую точку транзистора.

Выбор сопротивлений делителя осуществляется исходя из того, чтобы изменение токов при входном сигнале не приводило к существенному изменению положения точки покоя. Поэтому ток через делитель $R1, R2$ должен быть на порядок больше тока базы, т.е. для точки покоя получим:

$$I_{R1} \cong 10 I_B \text{ и}$$

$$I_{R2} = I_{R1} - I_B$$

Поскольку $U_{B_n} = U_{R2} = U_{R_{2n}} + 0,6B$, определим

$$R2 = U_{R_{2n}} / (I_{R1} - I_B), \quad R1 = (E_K - U_{B_n}) / I_{R1}.$$

||

Конденсатор C_1 выбирается таким образом, чтобы его импеданс (сопротивление) было бы небольшим для входного сигнала на рабочих частотах.

$$C_1 \geq \frac{1}{2\pi f (R_1 || R_2)}$$

1.5. Расчёт коэффициентов усиления усилителя

1.5.1. По напряжению

Коэффициент усиления по напряжению $K_U = \Delta U_K / \Delta U_B = - (R_K / R_3^*)$ изменяется от значения $- (R_K / R_3)$ при отсутствии емкости C_3 , до значения $- (R_K / r_3)$ – в случае выбора достаточно большой емкости C_3 или при отсутствии сопротивления R_3 .

$$R_3^* = r_3 + (R_3 || R_C),$$

Где: реактивное сопротивление емкости $R_C = 1 / 2\pi f C$

r_3 – внутренне сопротивление база-эмиттер, равное приблизительно $25mV / I_B$.

1.5.2. По току

$$K_I = \Delta I_K / \Delta I_B$$

1.5.3. По мощности

$$K_P = K_f K_U$$

1.6. Расчёт входного $R_{вх}$ и выходного $R_{вых}$ сопротивлений усилителя

Входное сопротивление усилителя равно $R_{вх} = \Delta U_{вх} / \Delta I_{бх}$.

Для входного сигнала схема представляет собой параллельное соединение $R1$, $R2$ и входного сопротивления усилителя со стороны базы $R_{вхб}$.

Где $R_{вхб} = \Delta U_{б} / \Delta I_{б}$

С учетом того, что $I_{с} = I_{б} (h_{21э} + 1)$

$\Delta I_{б} = \Delta I_{с} / (h_{21э} + 1) = (\Delta U_{э} / R_{э}^*) / (h_{21э} + 1) = (\Delta U_{б} / R_{э}^*) / (h_{21э} + 1)$.

Откуда $R_{вхб} = (h_{21э} + 1) R_{э}^*$.

Обычно на рабочей частоте импедансом входной разделительной емкости $C1$ можно пренебречь. При необходимости ее необходимо рассматривать как последовательное сопротивление.

Выходное сопротивление усилителя $R_{вых} = \Delta U_{к} / \Delta I_{к}$ определяется параллельным соединением $R_{к}$ и выходного сопротивления транзистора со стороны коллектора. Коллектор обладает очень высоким сопротивлением (обратное сопротивление диода), порядка мегаОм. Поэтому выходное сопротивление определяется коллекторным сопротивлением.

1.7. Проверка расчетов графическим способом

Найти в справочнике графики входных и выходных характеристик выбранного транзистора. (Допускается воспользоваться в лабораторной работы типовыми графиками, пересчитав в них условные значения соответствующих токов и напряжений $I_{бусл}$, $I_{кусл}$, $U_{бусл}$, $U_{кусл}$ таким образом, чтобы условное значение 1 соответствовало максимально допустимому для данного типа транзистора.)

Далее, на входной характеристике $I_{б}(U_{бэ})$ выбрать линейный участок кривой по длине на оси $U_{бэ}$ не короче, чем двойная амплитуда входного сигнала. Средняя точка этого участка и будет рабочей точкой. Проведя перпендикуляр к оси $U_{бэ}$ мы найдем $U_{бэи}$ - напряжение (покоя) на входе при отсутствии входного сигнала.

Самостоятельно по входной характеристике определить допустимую амплитуду входного сигнала.

Задаваясь по входной характеристике $I_{б}(U_{бэ})$ напряжением $U_{бэи}$ и током $I_{би}$ и, учитывая соотношение:

$$I_{к} \approx h_{21э} \cdot I_{б},$$

построить характеристику $I_{к}(U_{бэ})$ и найти ток покоя коллектора $I_{ки}$.

Задавшись напряжениями $U_{кэ}$ и $U_{кэ}$, определить величины сопротивлений.

Построить нагрузочную прямую на семействе выходных характеристик $I_{к}(U_{кэ})$. Для этого на оси $U_{кэ}$ отложить $E_{к}$, а на оси $I_{к}$ - величину, равную $E_{к} / (R_{к} + R_{н})$ и соединить эти точки прямой.

Пояснения:

При работе транзистора совместно с нагрузкой R_n , включенной в цепь коллектора (а если имеется сопротивление в цепи эмиттера, то и $R_э$), напряжение источника питания E_k распределяется между нагрузкой и переходом коллектор - эмиттер ($U_{кэ}$):

$E_k = U_{кэ} + I_k * R_n$, поэтому ток коллектора изменяется по линейному закону в соответствии с выражением $I_k = (E_k - U_{кэ}) / R_n$.

Элементы $C_э$ и $R_э$, стоящие в эмиттерной цепи, предназначены для стабилизации точки покоя

Контрольные вопросы, которые студент должен знать и отразить в отчете

1. Три схемы включения биполярных транзисторов и основные особенности каждой схемы, с указанием электродов, на которые подается сигнал в каждом случае, и электродов, с которых снимается сигнал.
2. Разновидности транзисторов (тип, мощность, частота).
3. Принцип действия и характер влияния эмиттерного сопротивления на работу усилителя.
4. Понятие о точке покоя транзисторного усилителя.
5. Электрическую схему усилителя с указанием направления всех токов и параметрами элементов.
6. Электрический расчет основных элементов усилителя с обоснованиями и пояснениями.
7. Графический расчет основных элементов усилителя.
8. Выводы

Варианты заданий

№ вар	f_{max} , МГц	K_u	K_i	I_{km} , мА	$U_{вк}$ мВ	P_k , мВт	E_k , В
1.	10	10		50			40
2.	100	10		6			15
3.	2		40	100		500	12
4.	100		60	10			12
5.	1		30	1А			20
6.	0,1		30	2А			15
7.	0,2	10		3А		20	12
8.	1	5		50			12
9.	1	4		100			15

Недостающие данные студенты выбирают или рассчитывают самостоятельно.

Типовые входные и выходные характеристики транзисторов

