**Контрольная работа**

С целью наиболее полного ознакомления с принципами расчетов усилительных каскадов в контрольную работу включены расчеты резисторного каскада на биполярном транзисторе, который широко применяются в качестве предварительного каскада усиления гармонических сигналов.

Номера вариантов задач, которые должен решить студент, определяются по последней цифре пароля.

Контрольная работа, оформленная в соответствии с приведенными ниже правилами, направляется для проверки преподавателю. Методика решения задач может выбираться индивидуально.

**1. Правила выполнения и оформления контрольной работы**

1. В тексте каждой задачи контрольной работы должны содержаться: техническое задание, таблица используемых параметров усилительного прибора, решение задачи, принципиальная схема рассчитываемого каскада и графики с необходимыми построениями. В конце работы следует дать список использованной литературы, необходимы подпись исполнителя, дата.

2. Схемы и графики выполняются с соблюдением требований Единой системы конструкторской документации и нумеруются. Текстовые пояснения к расчетам должны быть предельно кратки.

3. Необходимо соблюдать правила написания единиц измерений и требования ГОСТ на начертания элементов принципиальной схемы.

4. В расчетные формулы обязательно должны быть ***подставлены числовые значения и приведен результат без промежуточных вычислений***. Подставляемые в формулы числовые значения необходимо указывать в основных единицах (вольт, ампер, фарад, генри и т. д.). Окончательный результат должен быть снабжен знаком основной или производной размерности (миллиампер - мА, килоом - кОм и т. д.).

5. После вычисления сопротивления какого-либо резистора или емкости конденсатора необходимо сразу же выбрать ближайший номинал по шкале ГОСТа и в дальнейших расчетах использовать только эту величину.

При выборе элементов наименование указывается полностью. Примеры обозначения сопротивлений приведены в примечании к таблицам П3.

6. Контрольные работы, выполненные с отступлением от указанных правил, ре­цензированию не подлежат.

**2. Задание на контрольную работу**

Выполнить расчет сопротивлений схемы предварительного каскада усиления на биполярном транзисторе с эмиттерной стабилизацией (рисунок 2 или 4 методических указаний) с исходными данными, указанными в таблице 1.

Текст пояснительной записки должен включать:

1. Схему рассчитываемого усилителя.
2. Выбор режима работы транзистора.
3. Расчет цепей питания по постоянному току (сопротивлений схемы).
4. Построение нагрузочной прямой по постоянному току (с обоснованием процесса построения).
5. Определение входного сопротивления усилительного каскада по переменному току.
6. Расчет стабилизации режима работы транзистора.

**Последняя цифра пароля 2.**

**Таблица 1 – Исходные данные к расчету**




Рисунок 1 – Каскад предварительного усиления на биполярном транзисторе с эмиттерной стабилизацией


Рисунок 2 – Схема эмиттерного повторителя на биполярном транзисторе с комбинированной стабилизацией

**3. Методические рекомендации к расчету**

1. **Выбор режима работы транзистора**

Режим работы транзистора определяется постоянными токами и напряжениями на электродах транзистора (*Uк0, iк0, Uб0, iб0*). В каскаде предварительного усиления, работающего в режиме “А”, постоянные составляющие выходных токов и напряжений выбираются значительно больше переменных, которые необходимо обеспечить на входе следующего каскада, для уменьшения нелинейных искажений. Минимальные значения *iк0* и *Uк0* ограничены, во первых, усилительными свойствами транзистора, которые ухудшаются при *iк0 < 1 мА*, и, во-вторых, режимом насыщения транзистора, при котором нелинейность характеристик резко возрастает при *Uкэ < Uк* нас, где *Uк* нас – напряжение насыщения транзистора, указанное в справочнике. Таким образом:

.(3.1)

При выполнении условия (3.1) для каскадов предварительного усиления напряжение на коллекторе *Uк0* выбирается не менее *3 –5 В* с учетом следующих соображений:

При выполнении условия (3.1) для каскадов предварительного усиления напряжение на коллекторе *Uк*0 выбирается не менее 3 –5 *В* с учетом следующих соображений:

* при меньших напряжениях сказывается нелинейность характеристик транзистора вблизи режима насыщения, что приводит к существенным нелинейным искажениям и изменению коэффициента усиления под действием дестабилизирующих факторов;
* необходимо предусмотреть запас на нестабильность точки покоя (тока *iк*0) при изменении температуры *р – n* перехода транзистора, иначе изменение коллекторного тока (при изменении температуры окружающей среды, саморазогреве транзистора, замене элементов) может привести к существенным нелинейным искажениям.

*iб*0 * iк*0 */ h*21*э ср,* где *h*21*э ср = *– средний статический коэффициент усиления транзистора, определяемый по справочным данным (приведен в таблице П1).

*Uб*0можно определить из входной характеристики транзистора для рассчитанного тока *iб0* (при отсутствие справочных данных можно взять равным *Uб*0=0,5 – 0,7 В).

1. **Расчет сопротивлений схемы**

***а) для схемы рисунка* 1**

Расчет (выбор) значений резисторов *Rк* и *Rэ* производится из следующих соображений.

Нагрузкой для усилительного каскада служит входное сопротивление следующего каскада усиления. Поскольку сопротивление *Rк* по переменному току включено параллельно *Rвх сл*, то нагрузкой для транзистора служит сопротивление

.

Для уменьшения шунтирования сопротивлением *Rк* входа следующего каскада рекомендуется выбирать его из условия *Rк * (2…6) *Rвх сл*.

Вместе с тем, из уравнения Кирхгофа для выходной цепи каскада:

*Еп = Uк*0 *+ URк + URэ* (3.2)

следует, что

1. Сопротивления и токи в выходной цепи должны выбираться так, чтобы сумма падений напряжения на элементах выходной цепи каскада не превышало *Еп*.

2. Падение напряжения на сопротивлении в цепи эмиттера

*URэ = Еп – Uк*0 *+ URк*, где *URк = Rк iк*0*.* (3.3)

Для выбранного режима работы (*Uк*0*, iк*0) сопротивление *Rк* выбирается таким образом, чтобы напряжение на сопротивлении *Rэ* составляло не менее (0,2…0,3)*Uк*0 для обеспечения стабилизации режима работы транзистора.

Величины напряжений на сопротивлениях *Rк* и *Rэ* можно перераспределять с учетом того, что:

* при *URк > URэ* увеличивается коэффициент передачи усилителя, но ухудшается стабильность точки покоя, поскольку для меньшего значения *Rэ* уменьшается глубина обратной связи по постоянному току;
* при *URк < URэ* улучшается стабильность режима работы транзистора, но уменьшается коэффициент передачи усилителя, поскольку возрастает составляющая переменного тока, протекающая через сопротивление *Rк* и, соответственно, уменьшается *Rк~* и, следовательно, напряжение на входе транзистора следующего каскада.

После предварительного выбора *URк* и *URэ* (и расчета соответствующих сопротивлений) далее производится расчет стабилизации режима работы. При неудовлетворительной стабилизации можно вернуться к выбору *Rк* и *Rэ* и перераспределить напряжения на них в пользу *URэ*.

, (3.4)

Сопротивления резисторов делителя напряжения, создающих смещение в базовой цепи транзистора, определяются из соотношений:

; , (3.5)

где *iдел* – ток делителя, который выбирается из условия *iдел * (3…10) *iб0*. Увеличение тока делителя повышает стабильность режима работы транзистора (стабильность выходного постоянного тока), но при этом сопротивления делителя уменьшаются, что приведет к шунтированию входа транзистора и уменьшению коэффициента передачи по переменному току.

***б) для схемы рисунка 2***

Расчет схемы проводится с учетом фильтра в цепи питания (*Rф*), падение напряжения на котором выбирают из рекомендации: *URф <* 0,2*Еп.* Тогда

, (3.6)

где ток делителя выбирается из условия *iдел * (3…10) *iб*0.

Сопротивление *Rк* определяется из тех же соображений, что и для схемы на рисунке 1 с учетом уравнения Кирхгофа для выходной цепи каскада:

*Еп = Uк*0 *+ URк + URэ+ URф*. (3.7)

Сопротивление *Rэ* определяется из (3.8):

(3.8)

Сопротивления в цепи делителя напряжения (*Rб, R*):

; , (3.9)

1. **Определение входного сопротивления усилительного каскада**

Входное сопротивление каскада (*Rвх*) для схем рисунков 1 и 2 определяется как параллельное соединение сопротивлений делителя (*R, Rб*)и входного сопротивления транзистора, включенного с ОЭ (*Rвхэ*):

, (3.10)

где **– входное сопротивление транзистора, включенного с общим эмиттером. В случае отсутствия в справочнике значения *rб* можно взять его равным 50 Ом или определить графически по входной статической характеристике (используя верхний участок характеристики, приведенный при максимальных токах базы).

1. **Расчет стабилизации режима работы транзистора**

При расчете усилительных каскадов нестабильность постоянного коллекторного тока производится для наихудшего случая, при максимальных значениях неуправляемого коллекторного тока (*Iкб*0 *мах*)*,* статического коэффициента усиления тока базы (*h*21*э мах*) и заданной температуры окружающей среды (*Тс.мах*).

Сначала рассчитывается максимальное приращение коллекторного тока без учета действия элементов стабилизации

* iк*0 *мах = iб*0 *h*21*э мах + Iкб*0 *мах* (1 *+ h*21*э мах*) *– iк*0, (13.11)

где *Iкб0 мах –* неуправляемый обратный ток коллектора, рассчитанный при максимальном значении температуры *p–n* перехода транзистора

*Тп мах = Тс + RпсРк* , (13.12)

где *Рк = Uк*0 *iк*0 – мощность рассеивания на коллекторе транзистора; *Rпс* – тепловое сопротивление переход–среда, которое характеризует степень отвода тепла от *p–n* перехода в окружающую среду. ***Обратите внимание на размерность Rпс и Рк.***

При повышении температуры *Iкб*0значительно возрастает (по показательному закону). Для кремниевых транзисторов ток возрастает в 3 раза при увеличении температуры перехода на каждые 10 .

, (13.13)

где *Т* – температура, при которой приведено значение *Iкб*0в справочнике.

Затем определяется приращение коллекторного тока с учетом эмиттерной стабилизации, для чего рассчитывается глубина обратной связи по постоянному току(*Fпосл*)

**, (13.14)

где *–* сопротивление делителя.

3. Построение нагрузочной прямой по постоянному току

При построения нагрузочной прямой записывается уравнение Кирхгофа для выходной цепи транзистора по постоянному току

*Еп  Uкэ + iк  Rн=*,

где *Rн= = Rк + Rэ* (для схемы рисунка 1);

*Rн= = Rф + Rк + Rэ* (для схемы рисунка 2);

Нагрузочная прямая строится по двум крайним точкам:

при *Uкэ =* 0 *iк = / Rн=;*

при *iк =*0 *Uкэ =* *Еп*.

На графике указать положение рабочей точки. Если расчеты резисторов выполнены верно, то точка покоя будет находиться на нагрузочной прямой.

После построения нагрузочной прямой необходимо сделать вывод о работоспособности рассчитанного усилителя при действии дестабилизирующих факторов. Усилительный каскад будет работоспособен, если максимальное изменение тока коллектора не приведет к существенному смещению точки покоя в область насыщения транзистора. Это означает, что переменная составляющая коллекторного тока с учетом постоянной составляющей (*iк*0) и максимального его приращения (при повышении температуры перехода) не будет попадать в область насыщения транзистора.

Если условие работоспособности не выполняется, то необходимо пересмотреть выбор режима работы транзистора, а также сопротивлений в выходной цепи транзистора и в цепи базы таким образом, чтобы увеличить сопротивление эмиттера (*Rэ*) и уменьшить сопротивление делителя (*Rд*) для повышения глубины ООС по постоянному току (*Fпосл*).

**Приложение 1** Справочные данные биполярных транзисторов

Таблица П1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип транзистора | Структура | *h*21*э*(мин…макс)  | *Iкб*0 (*Т*)*мкА* (° *С*) | *Uкэ макс, В* | *Iк макс, мА* | *Рк макс, Вт* | *Uкэ нас, В* | *Тп макс, ° С* | *RТ П-С,**° С / мВт*  |
| КТ312Б | *n – p – n* | 25…100 | 10 (25)30 (85) | 35 | 30 | 0,225 | 0,8 | 115 | 0,4 |
| КТ361Б | *p – n – n* | 50…350 | 1 (25)25 (100) | 20 | 50 | 0,15 | 0,4 | 120 | 0,67 |
| КТ3102А | *n – p – n* | 100…250 | 0,05 (25)5 (85) | 50 | 100 | 0,25 | 0,8 | 125 | 0,4 |
| КТ3107Б | *p – n – n* | 120…220 | 0,05 (25)5 (85) | 50 | 100 | 0,3 | 1 | 150 | 0,42 |

**Приложение 2** Справочные данные стандартных значений сопротивлений

Номинальные значения резисторов и конденсаторов стандартизированы в пределах десятичного интервала. Для постоянных резисторов согласно ГОСТ 2825-67 установлено шесть рядов: Е6, Е12, Е24, Е48, Е96, Е192, а для переменных резисторов в соответствии с ГОСТ 10318-80 установлен ряд Е6. Наиболее употребительные значения сопротивлений выбираются из ряда Е24. (Ряды Е96, Е192 относятся к прецизионным резисторам с разбросом соответственно + 5% и + 2%). Наиболее употребительные значения емкостей выбираются из рядов Е3, Е6, Е12, Е24.Номинальные значения выбираются из определенных рядов путем умножения или деления их 10n, где n – целое положительное число.

Таблица П2 – Номинальные ряды

|  |  |
| --- | --- |
| Ряд | Числовые коэффициенты |
| Е3 | 1 |   |   |   | 2,2 |   |   |   | 4,7 |   |   |   |
| Е6 | 1 |   | 1,5 |   | 2,2 |   | 3,3 |   | 4,7 |   | 6,8 |   |
| Е12 | 1 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2,2 | 2,7 | 3,3 | 3,9 | 4,7 | 5,6 | 6,8 | 8,2 |
| Е24 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2 | 2,2 | 2,4 | 2,7 | 3 |
| 3,3 | 3,6 | 3,9 | 4,3 | 4,7 | 5,1 | 5,6 | 6,2 | 6,8 | 7,5 | 8,2 | 9,1 |

Таблица П3 – Постоянные резисторы

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Номинальнаямощность,Вт | Диапазон номинальных сопротивлений | Ряд | Допуск% | Тип | Номинальнаямощность,Вт | Диапазон номинальных сопротивлений | Ряд | Допуск |
| ***Общего назначения*** |
| **МЛТ** | 0,125 | 8,2 Ом…3 МОм | Е24, Е96 | +2; +5; +10; | **С2-33Н** | 0,125 | 1 Ом…3 МОм | Е24, Е96 | +1; +2; +5; +10; |
| 0,25 | 8,2 Ом…5,1 МОм | 0,25 | 1 Ом…5,1 МОм |
|   | 0,5 | 1 Ом…5,1 МОм |   |   |   | 0,5 | 1 Ом…5,1 МОм |   |   |
| 1 | 1 Ом…10 МОм | 1 | 1 Ом…10 МОм |
| 2 | 1 Ом…10 МОм | 2 | 1 Ом…10 МОм |
| **Р1-4** | 0,25 | 10 Ом…1 МОм | Е24, Е96 | +1; +2; +5; +10 | **С1-4** | 0,125 | 10 Ом…2 МОм | Е24, Е48 | +2; +5; +10; |
| 0,5 | 1 Ом…10 МОм | 0,25 | 10 Ом…10 МОм |
|   |   |   |   |   | 0,5 | 10 Ом…10 МОм |

**Примечание:** При выборе резистора указывается: тип резистора, его номинал, максимальная рассеиваемая мощность и допустимый разброс параметров. Например: **МЛТ 47кОм, 0,125Вт +5%.**