ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

**Тема:**

**"Графоаналитический расчет и исследование полупроводникового усилительного каскада"**

Севастополь 2007 г.

1. **Выбор параметров усилительного каскада**

Выбор параметров усилительного каскада осуществлён согласно номеру варианта из приложения А, а также приложений В и Г, где определён тип транзистора (Uкэ доп=20 В, Iк доп=50 mА)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1. Тип транзистора | МП-20А | p-n-p |
| 2. ЭДС источника питания | Ек | 20 В |
| 3. Сопротивление нагрузки | Rк | 0,68 кОм |
| 4. Сопротивление эмиттерного резистора | Rэ | 0,33 кОм |
| 5. Амплитудное значение напряжения сигнала | Uвхm | 0,08 В |
| 6. Частота сигнала | f | 400 Гц |

Рис. 1. Одиночный транзисторный каскад усиления

Рис. 2. Схема транзистора

Для усилительного каскада выбрана схема включения транзистора с общим эмиттером. Входной сигнал прикладывается к выводам эмиттера и базы, а источник питания коллектора включён между выводами эмиттера и коллектора. Таким образом, эмиттер является общим электродом для входной и выходной цепей. Входным током является малый по величине ток базы, выходным током – ток коллектора. В схеме с общим эмиттером можно получить коэффициент прямой передачи тока порядка нескольких десятков.

1. **Построение входной и выходной статистических характеристик транзистора**

На рисунке 3, выполненном на миллиметровой бумаге, построены входная и выходные характеристики транзистора МП-20А. Для схемы с общим эмиттером статической входной характеристикой является график зависимости тока базы Iб от напряжения Uбэ при постоянном значении Uкэ: Iб=f(Uбэ) при Uкэ=const. Выходные характеристики транзистора для схемы с общим эмиттером представляют собой зависимости тока коллектора от напряжения между коллектором и эмиттером при постоянном токе базы. Iк=φ(Uкэ) при Iб=const. Крутизна выходных характеристик на начальном участке от Uкэ=0 до |Uкэ| = |Uбэ| =0,08 В велика. На участке |Uкэ| > |Uбэ| крутизна характеристик уменьшается, и они идут почти параллельно оси абсцисс. Положение каждой из выходных характеристик зависит, главным образом, от величины тока базы.

Значения токов базы рассчитывается, начиная с самой нижней кривой, соответствующей I0б=0. Значение ∆ Iб=0,1 мА приведено в правом верхнем углу графиков выходных статических характеристик приложения В. Следовательно:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| I0б | 0 | I0б=0 мА |
| Iб1= I0б +∆ Iб | 0+0,1 | Iб1=0,1 мА |
| Iб2= Iб1 +∆ Iб | 0,1+0,1 | Iб2=0,2 мА |
| Iб3= Iб2 +∆ Iб | 0,2+0,1 | Iб3=0,3 мА |
| Iб4= Iб3. +∆ Iб | 0,3+0,1 | Iб4=0,4 мА |
| Iб5= Iб4+∆ Iб | 0,4+0,1 | Iб5=0,5 мА |

1. **Построение нагрузочной прямой для режима постоянного тока в цепи коллектора**

Нагрузочная прямая представляет собой траекторию движения рабочей точки транзистора при изменении уровня входного сигнала. В основе построения лежит решение уравнения динамического режима транзистора относительно тока коллектора. Сперва строим нагрузочную прямую для режима постоянного тока в цепи коллектора (прямая АВ на рис. 3.) При отсутствии входного сигнала, т.е. переменного напряжения Uвх заданной частоты, в коллекторной цепи будет протекать только постоянный ток коллектора Iк, и установится баланс напряжений, определяемый законом Кирхгофа:

Ек = URK+ Uкэ + URЭ = IKRK + UКЭ +IЭКЭ (1)

Отсюда напряжение, снимаемое с коллектора транзистора (выходное для него):

Uкэ = Ек – URK-URЭ = EK – IkRk-IэRэ (2)

Для упрощения рассуждений пренебрежем известным соотношением IЭ=IK+IБ> IK, и, поскольку ток базы IБ «Iк, примем IK «IЭ. Тогда выражение (2) примет вид:

UКЭ= Ек – URK-URЭ = Ек – Iк'Rк – IKRэ = Eк – Iк (Rк+Rэ) (3)

Выражение (3) называется *уравнением динамического режима работы транзистора,* показывающее, что напряжение на выходе транзистора UКЭ изменяется при любых изменениях тока коллектора IK.

Разрешив уравнение (3) относительно тока IK, получим:

(4)

Уравнение (4) позволяет построить *нагрузочную прямую транзистора по постоянному току.*

Приравнивая нулю значения UКЭ(транзистор открыт), получим:

Iк=Ек/(Rк+Rэ)=20/(680+330)=0,0198А=19,8 мА – точка А на оси ординат.

Приравнивая нулю значения Iк (транзистор закрыт), получаем:

Ек/(Rк+Rэ)=Uкэ/(Rк+Rэ)=> Ек=Uкэ=20 В-точка В на оси абсцисс.

Соединив точки, получаем искомую нагрузочную прямую **АВ** для режима постоянного тока в цепи коллектора (рисунок 3).

*Примечание:* эти точки – теоретические, поскольку транзистор в принципе не может быть открыт до уровня нулевого сопротивления перехода коллектор – эмиттер, которое мало, но RКЭ≠ 0,поэтому не может быть и UКЭ = IRRКЭ равным нулю. Это же можно сказать и о закрытом состоянии транзистора, для которого ток коллектора очень мал, но Iк≠ 0.

1. **Построение динамической переходной характеристики для режима постоянного тока**

Пользуясь графиками входной характеристики и нагрузочной прямой найдем геометрическое решение уравнения IK=f(IБ) в динамическом режиме, представляющее собой *переходную динамическую характеристику*

Переходная динамическая характеристикапостроена в левом верхнем квадранте графическим методом. Для этого ординаты точек пересечения нагрузочной прямой со статическими выходными характеристиками проецируются во второй квадрант, где пересекаются с проекциями соответствующих им токов базы. По полученным точкам строится динамическая переходная характеристики для режима постоянного тока Iк =f(IБ)-

При IБ = 0 ток коллектора очень мал, обусловлен движением только «тепловых» неосновных носителей через переход коллектор-база и представляет собой ток насыщения неосновных носителей коллекторного перехода IK=IКS (транзистор находится на границе режима отсечки). Переходная характеристика имеет протяженный линейный участок и лишь при приближении к режиму насыщения транзистора становится нелинейной. При дальнейшем увеличении тока базы IБ ток коллектора асимптотически стремится к своему наибольшему значению

**=20/(680+330)=)=0,0198А=19,8 мА**

**5. Выбор положения начальной рабочей точки Р для режима постоянного тока в цепи коллектора**

Положение *начальной рабочей точки* (точки покоя при UВХ=0)на всех характеристиках задается напряжением смещенияUБЭ и определяет способность транзистора влиять на форму сигнала в процессе усиления. Наименьшее искажение формы сигнала достигается в транзисторном каскаде, работающем в *классе А*.

Начальная рабочая точка **Р**для такого усилительного каскада должна располагаться на участке входной характеристики, *наиболее близком к линейному (в пределах двойной амплитуды входного сигнала), соответствующем наиболее линейному участку переходной характеристики.* Только в этом случае между изменениями входного сигнала ΔUБЭ и выходного тока ΔIK(а, следовательно, и выходного напряжения ΔUКЭ) будет иметь место линейная зависимость.

После выбора положения начальной рабочей точки **Р**на входной и переходной динамической характеристиках она переносится на нагрузочную прямую*.* Именно в этой точке снимаем с графиков числовые значения параметров, характеризующих начальную рабочую точку (точку покоя при отсутствии входного сигнала)*:* **Uбэ0*=*0,15 В; Iб0=0,2 мА; Uкэ0*=*10 В; Iк0=10 мА.**

**6. Построение нагрузочной прямой для режима переменного тока**

В режиме переменного тока на вход усилительного каскада подается входной синусоидальный сигнал заданной амплитуды (UВХ≠0) и частоты f.

Этому режиму работы соответствует другая нагрузочная прямая, при построении которой принимается во внимание шунтирование резистора температурной стабилизации **Rэ=0,33кОм** малым емкостным сопротивлением конденсатора **Сэ** на частоте входного сигнала. Для простоты будем считать, что на заданной частоте **f=400Гц**емкостное сопротивление конденсатора **XC =0** и он полностью закорачивает резистор Rэ. Тогда эмиттер транзистора на частоте входного сигналаоказывается замкнутым на землю и баланс напряжений коллекторной цепи изменится по сравнению с выражением (3).

Поскольку эти изменения проявляются только на переменной составляющей сигнала, перепишем уравнение (1) с учетом наличия этой составляющей:

Отсюда

 (5)

Сгруппируем слагаемые

 (6)

И введём новые обозначения:

*Ек’=Ек – Iк0·Rэ Iк= Iк0 + iк≈*

Окончательно получим:

 (7)

Уравнению (7) соответствует диаграмма, приведенная на рисунке 4.

Рисунок 4 *–* К построению нагрузочной прямой для переменной составляющей при наличии элементов Rэ и Сэ

Разрешив уравнение (7) относительно тока Iк, получим:

(8)

Мы видим, что выражение (8) по форме совпадает с выражением (4), которое лежало в основе построения нагрузочной прямой для постоянного тока в цепи коллектора.

Поэтому, рассуждая аналогично, найдем значение максимального тока коллектора IK = Е΄к /RK(при Uкэ = 0) для переменной составляющей.

Е΄к = Ек – Iк0·Rэ *=* 20 – 0,01·330 **=> Е΄к =16,7 (В)**

Iк= (Ек – Iк0·Rэ)/Rк

Iк= 16,7/680 ≈0,02456 =24,56·10ˉ³ А **=>Iк =24,56 (мА)**

Продолжаем построения на миллиметровой бумаге (рис. 3).Отложив на оси IK полученное новое значение максимального тока коллектора (точка **С**),через эту точку и выбранную ранее начальную рабочую точку (точку покоя **Р**),проводится нагрузочная прямая для режима переменного тока коллектора. Все дальнейшие рассуждения и построения, характеризующие работу усилительного каскада, выполняем с использованием этой нагрузочной прямой.

**7. Построение динамической переходной характеристики для режима переменного тока**

Динамическая переходная характеристика для режима переменного тока строится по точкам пересечения только что построенной нагрузочной прямой для переменного тока с выходными статическими характеристиками. Аналогично построению динамической переходной характеристики для режима постоянного тока в левом верхнем углу рисунка 3 находим точки пересечения линий, идущих от выходных характеристик и линий, проходящих через соответствующие им токи базы. На большей части линейного участка обе переходные характеристики совпадают или достаточно близки по расположению, однако, асимптоты (линии, к которым приближаются характеристики в верхней части), различаются.

**8. Работа каскада в режиме усиления А**

При отсутствии входного сигнала (Uвх=0) состояние транзистора определяется напряжением смещения │Uбэ│ = │UБЭ0│=│UR2 – URЭ│ =150 мВ = const,обеспечивающем работу каскада в классе А. Для работы каскада в режиме А на базу подаётся такое напряжение смещения, чтобы рабочая точка Р, определяющая исходное состояние схемы при отсутствии входного сигнала, располагалась примерно на середине наиболее прямолинейного участка входной характеристики. В этом режиме напряжение смещения Uбэ по абсолютной величине всегда больше амплитуды входного сигнала Uвхm (150 мВ>80 мВ), а ток покоя Iк0 всегда больше амплитуды переменной составляющей выходного тока (Iк0>Iкm). В режиме А при подаче на вход каскада синусоидального напряжения в выходной цепи будет протекать ток, изменяющийся тоже по синусоиде. Это обуславливает минимальные нелинейные искажения сигнала. Но, режим А самый неэкономичный, так как полезной является лишь мощность, выделяемая в выходной цепи за счёт переменной составляющей выходного тока, а потребляемая мощность определяется значительно большей величиной постоянной составляющей. Поэтому КПД усилительного каскада в режиме А – 20–30%. Обычно в этом режиме работают каскады предварительного усиления или маломощные выходные каскады.

**9. Определение напряжений и токов транзисторного усилительного каскада графоаналитическим методом**

На графиках всех характеристик, *начиная с входной,* приводятся временные диаграммы соответствующих сигналов (см. рисунок 3). Ось временипроведена перпендикулярно к оси отображаемого параметра на линии, проходящей через начальную рабочую точку. Ось изменений параметрапроведена параллельно оси параметра основного графика, если ось основного графика положительная, то направления осей совпадают, если отрицательная, то противоположно.

 - заданный параметрUвх max=0,08 В= 80 мВ.

Диаграмма построена в левом нижнем квадранте. Строится график одного периода входного синусоидального сигнала. Масштаб диаграммы по оси UВХ совпадает с масштабом оси Uбэ основного графика. Положительная полуволна откладывается в соответствии с положительным направлением оси UВХ (на рисунке 3 оно противоположно отрицательному направлению оси Uбэ основного графика). Масштаб графика по оси времени произволен и сохранится при построении остальных временных диаграмм.

На этой временной диаграмме *график изменения сигнала* на входе усилительного каскада (перед разделительным конденсатором СP1) *представлен ровно заштрихованной синусоидой.*

При воздействии входного сигнала график изменения напряжения UБЭ представляет собой алгебраическую сумму постоянной составляющей UБЭ0 и переменной составляющей Uвх. Во время положительного полупериода Uвх результирующей является разность между постоянной составляющей – UБЭ0 и переменной составляющей + uвх (в нашем случае, когда ось UБЭ отрицательна). Во время отрицательного полупериода uвх эти две составляющие складываются.

График изменения напряжения – UБЭ(после разделительного конденсатора СР1) при воздействии входного сигнала + UВХ представлен фигурой, *заштрихованной по диагонали.*

Все диаграммы, построенные далее являются производными от только что построенной диаграммы uвх =f(t).Они строятся в осях времени и соответствующего параметра, ось времени проходит через начальную рабочую точку (точку покоя **Р)***.* Точки максимального отклонения входного напряжения uвх (в обе стороны от оси времени) проецируются на входную статическую характеристику и определяют соответствующие им максимальные отклонения тока базы IБ относительно IБ0, (состояния при uвх =0).

На оси времени *t* откладывается один период Т = 1/fизменения сигнала iБ. Масштаб оси диаграммы iБ совпадает с масштабом оси IБ основного графика.

Анализ данной диаграммы показывает, что при отсутствии входного сигнала (uвх=0) базовый ток постоянен во времени и равен IБ = IБ0 = 0,2 мА = const.Под действием входного сигнала базовый ток IБизменяется во времени. Изменение *переменной составляющей тока базы* под действием входного сигнала представлено на временной диаграмме IБ = f(t) *ровно заштрихованной* фигурой. Ввиду некоторой нелинейности выбранного участка входной характеристики амплитудные значения изменения переменной составляющей тока базы IБm1≠IБm2 Суммарное изменение тока IБ = IБ0 ± iБчерез базовый электрод под воздействием входного сигнала uвх представлено фигурой, *заштрихованной по диагонали.*

Рассуждая аналогично, строим временные диаграммы iK = f(t), uВЫХ *=*f(t). Изменение переменной составляющей – *ровно* заштрихованные фигуры, суммарное изменений тока коллектора и выходного сигнала – фигуры, *заштрихованные по диагонали.*

На графике uВЫХ *=*f(t) видно, что каскад усиления на транзисторе в общим эмиттером изменяет (инвертирует) фазу входного сигнала на противоположную т.е. напряжение сигнала на входе и на выходе каскада сдвинуты между собой по фазе на 180 градусов.

Снимаем с графиков амплитудные значения переменных составляющих токов и напряжений сигналов. При неравенстве амплитудных значений переменных составляющих в положительном и отрицательном полупериодах выбираем большую из них.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| UВХm | IБm | IKm | UВЫХm |
| 0,08 В | 0,18 мА | 7 мА | 4,3 В |

**10. Расчет значения сопротивлений резисторов R1и R2 входного делителя напряжения**

Резисторы **R1, R2** представляют собой делитель напряжения. Мы имеем схему с фиксированным напряжением смещения на базе. Резисторы R1 и R2 подключены параллельно источнику питания. Фиксированное напряжение снимается с резистора R2. Пренебрегая малым внутренним сопротивлением источника питания можно считать, что R1 и R2 включены параллельно друг другу. При параллельном включении их общее сопротивление будет меньше меньшего из них и определяется именно этим сопротивлением. В нашем случае это резистор R2.

Для того чтобы напряжение было «фиксированным» и не зависело от внешних факторов (изменения температуры, изменения свойств транзистора из-за старения), влияющих на электрическую цепь, включенную параллельно резистору R2,(куда входит и эмиттерно-базовый переход транзистора), R этой цепи должно быть значительно больше сопротивления R2.

Значит ток в цепи R2 (а значит и в цепи всего делителя напряжения R1, R2*)* будет больше, чем в цепи тока базы транзистора.

Iделителя обычно Iд=(5…7) IБо. (9)

Iд=6·IБо =6·0,0002=0,0012 А =1,2 мА

Тогда, принимая во внимание, что по закону Кирхгофа

UR2=UБЭ0+URЭ0 = IДR2, (10)

UБЭ0 – снимается с графика UБЭ0 =0,15 В

URЭ0=IK0RЭ =0,01·330 = 3,3 В

находим

 (11)

R2=(0,15+3,3) / 0,0012 = 3,45/0,0012 = 2875 Ом

R2=2,875 кОм.

Учитывая, что через резистор R1протекают и ток делителя Iд и ток базы IБ0, запишем для него выражение:

Но

Тогда

 (12)

R1=(16,7 -3,45)/(0,0012+0,0002) = 13,25/0,0014 ≈ 9464,3 Ом

R1 = 9,464 кОм

**11.** **Расчет значений емкостей разделительных конденсаторов**

Разделительный конденсатор **Cp1** отделяет переменную составляющую от постоянной (Ср2 аналогичен для следующего каскада усиления) и является **верхним плечом** **делителя** входного переменногонапряжения UВХ. **Нижним плечом** этого делителя является входное сопротивление каскада RВХ, которое для переменной составляющей входного сигнала определяется *параллельно включенными* резисторами R2 и R1(верхняя точка R1замыкается на «землю» через малое сопротивление источника питания Eк) и сопротивлением транзистора. Сопротивление резистора RЭ во внимание не принимают, т. к. на частоте сигнала оно шунтировано малым емкостным сопротивлением конденсатора Сэ.

Обобщенное уравнение делителя напряжения:

 (1З)

Мы видим, что именно нижнее плечо (по отношению к верхнему) определяет результат деления. Нужно стремиться уменьшить сопротивление верхнего плеча (из (13) видно, что при RВЕРХ = 0 выходное напряжение делителя наибольшее (Uвьгх = UВХ). Следовательно, емкостное сопротивление разделительного конденсатора CР1 должно быть меньше сопротивления нижнего плеча.

Обычно величины емкостей разделительных конденсаторов Cр1 и Cр2 на входе и выходе усилительного каскада принимаются равными CР1=CР2= СР. Их значения определяются из соотношения:

XCp≤0, l R2,(14)

XCp≤0, l·2875; XCp≤ 287,5 Ом

Где - емкостное сопротивление разделительного конденсатора, Ом (при f – Гц и Ср – Ф).

1/(2πf·Cр) = 287,5

1/(2·3,141593·400·Cр)=287,5; 1/(2513,2744·Cр) = 287,5; 2513,2744·Cр = 0,003478; Ср=0,00000138 Ф=1,38 мкФ.

1. **Расчет значения емкости конденсатора СЭ**

Шунтирующий конденсатор Сэ предназначен для устранения (уменьшения) отрицательной обратной связи, возникающей на резисторе R3 при наличии входного переменного напряжения UВХ – Эта обратная связь уменьшает коэффициент усиления каскада на частоте входного сигналаи может быть нежелательна. Именно, чтобы отвести от резистора Rэ переменную составляющую тока коллектора (считаем iЭ ≈ iK) и ставится этот конденсатор.

Очевидно, что чем меньше емкостное сопротивление этого конденсатора, тем лучше по нему отводится от Rэ переменная составляющая тока коллектора. Исходя из этих соображений, обычно принимают

XCЭ≤ 0,1RЭ, (15)

Xcэ≤ 0,1·330

Xcэ=33 Ом

где - емкостное сопротивление шунтирующего конденсатора, Ом (при f – Гц и Сэ – Ф).

33=1/(2·3,141593·400·Сэ); 33=1/(2513,2744·Сэ); 2513,2744·Сэ=1/33; Сэ=0,0303/2513,2744; Сэ=0,0000121 Ф = 12,1 мкФ.

**13.** **Выбор номинальных значений сопротивлений, рассчитанных резисторов и емкостей конденсаторов**

Полученные в результате расчетов значения R и C нормализуем в соответствии с таблицей номиналов, полагая применение в схеме элементов II группы с точностью ± 10%*.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| R1 = 9,464 кОм | 9464 Ом | R1=10·10^3 Ом | R1=10 кОм |
| R2 = 2,875 кОм | 2875 Ом | R2=2·10^3 Ом | R2=2 кОм |
| Ср=1,38мкФ | Ср=0,00000138 Ф | Ср=1·10^-6 Ф | Ср=1 мкФ |
| Сэ=12,1 мкФ | Сэ=0,0000121 Ф | Сэ=12·10^-6 Ф | Сэ=12 мкФ |

R, C= a 10±n

|  |  |
| --- | --- |
| Класс точности | Коэффициент *а* |
| II ± 10% | 10 | - | 12 | - | 15 | - | 18 | - | 22 | - | 27 | - | 33 | - | 39 | - | 47 | - | 56 | - | 68 | - | 82 | - |

**14.** **Расчет коэффициента полезного действия каскада**

Коэффициент полезного действия каскада определяется из

(16)

где - полезная мощность, передаваемая усилительным каскадом в нагрузку (представляет собой площадь треугольника, см. рисунок 3 и 5);

Ркm=(1/2)·(4,3·0,007)=0,01505 Вт = 15,05 mВт.

- затраченная (бесполезно) мощность в режиме Uвх= 0 (представляет собой площадь прямоугольника под точкой **А).**

Рк0=10·0,01=0,1 Вт

Соблюдается условие РK0 < PK ДОП, гдеPK ДОП = 150mВт=0,15 Вт – допустимая мощность коллекторного перехода, взятая из приложения Г.

– мощность, потребляемая усилительным каскадом от источника питания;

Рк=0,01505 Вт + 0,1 Вт=0,11505 Вт.

Рисунок 5 – Графическое пояснение к определению к.п.д. усилительного каскада

η=(0,01505 / 0,11505)·100%=13,1%.

**15. Расчет коэффициентов усиления каскада**

Коэффициенты усиления каскада по току, напряжению и мощности вычисляются как отношения амплитуд выходных значений к входным:

; ; (17)

Величины UВХ m; UВЫХ m; IK m; IБ m. получены при анализе работы усилительного каскада графоаналитическим методом (рисунок 3).

Ku = 4.3/0.08 =53.75 Ki = 0.007/0.00018 = 38.89 Kp =53.75·38.89 = 2090.34.

**Заключение**

В данной работе был произведён графоаналитический расчёт одиночного транзисторного каскада усиления. Усилитель построен на основе схемы подключения транзистора с общим эмиттером. Эта схема даёт наибольшее усиление по мощности. Коэффициент прямой передачи или усиление по току соответствует нескольким десяткам. Полученное нами значениеKi = 38.89 соответствует заданным требованиям. К достоинствам схемы, помимо большого коэффициента усиления по току, относится возможность питания схемы от одного источника (так как на базу и на коллектор подаётся напряжение одного знака). Резисторы R1 и R2 составляют делитель напряжения. Сопротивление делителя должно быть большим (несколько килоОм, нами получено около 4 кОм), иначе входное сопротивление очень мало. Изменение тока в цепях эмиттера и коллектора транзистора незначительно влияют на величину напряжения смещения, следовательно стабильная работа. Для расчёта были использованы графики статических характеристик транзистора: входная и выходная. Построены динамические характеристики. Нелинейные искажения представляют собой изменение формы кривой усиливаемых колебаний, вызванное нелинейными свойствами цепи, через которую эти колебания проходят. Основная причина – нелинейность входной характеристики транзистора. Когда на вход усилителя подан сигнал синусоидальной формы, то попадая на нелинейный участок входной характеристики транзистора, этот сигнал вызывает изменение входного тока, форма которого отличается от синусоидальной и, следовательно, выходной ток и выходное напряжение изменяют свою форму по сравнению с входным сигналом. Разделительный конденсатор С1 служит для предотвращения протекания постоянной составляющей тока базы через источник входного сигнала. С помощью С2 на выход каскада подаётся переменная составляющая Uкэ, изменяющаяся по закону входного сигнала, но значительно превышающая его по величине. Rэ применяется для термостабилизации. Он шунтирован Сэ достаточно большой ёмкости, порядка десятков микроФарад (нами получено 12,1mлФ). Это делается для отвода переменной составляющей тока эмиттера от резистора Rэ.

Коэффициент полезного действия каскада **η=13,1%**

Коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности: Ku = 4.3/0.08 =53.75, Ki = 0.007/0.00018 = 38.89, Kp =53.75·38.89 = 2090.34.