

УДК 621.375

С.В. Константинов (канд. техн. наук, доц.), Т.В. Найденова (инж.)

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

кафедра автоматики и телекоммуникаций

E-mail: Tana08Naydyenova@rambler.ru

ПОЛУЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРНОГО КАСКАДА С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МИКРОСХЕМОТЕХНИКЕ

В статье предложена методика расчета для транзисторного каскада с общим коллектором. Методика включает в себя получение оптимальных параметров максимального коэффициента передачи тока и максимального КПД.

Ключевые слова: оптимальные параметры, транзисторный каскад с общим коллектором, максимальный коэффициент передачи, максимальный КПД.

Введение

При разработке транзисторных усилительных каскадов некоторые величины не рассчитывают, а принимают. Из-за этого, как правило, результат получается далеко не оптимальный. Основные требования — коэффициент усиления, согласование входных и выходных сопротивлений — выполняются, а остальное как получится.

Однако при проектировании малогабаритной аппаратуры, а особенно в микросхемном исполнении, на первое место выходит коэффициент полезного действия (КПД), т.к. чем ниже КПД тем больше тепла надо отвести.

В литературе [1] рекомендуют строить транзисторные каскады так, чтобы в состоянии покоя напряжение на транзисторе примерно равнялось напряжению на основном резисторе (рис. 2.15а). КПД не рассматривается.

В пособии [2] напряжение на эмиттерном резисторе предлагают брать в 2 и более раз больше напряжения на транзисторе. Это позволит получить симметричным максимально возможным, и повысит КПД. Однако в указанном пособии не рассмотрено влияние входного делителя на коэффициент передачи тока в эмиттерном повторителе.

В данной работе необходимо учесть все причины, влияющие на коэффициент передачи тока и КПД.

Требуется разработать такие методы расчета, чтобы в результате получались устройства с оптимальными параметрами.

Задачей данной работы является разработка методики расчета каскада с общим коллектором, позволяющей получать оптимальные параметры в соответствии с выбранным критерием, для применения их в микросхемах.

Усилительный каскад с общим коллектором (эмиттерный повторитель) имеет коэффициент усиления напряжения близкий к единице и сравнительно высокий коэффициент усиления тока. Пример схемы такого каскада приведен на рис. 1.

Как уже отмечалось при задании требований к каскаду с ОК, как правило, вводятся какие-то ограничения. В этом случае коэффициент усиления тока может оказаться в десятки раз меньше, чем у транзистора, а КПД упасть до нескольких процентов.

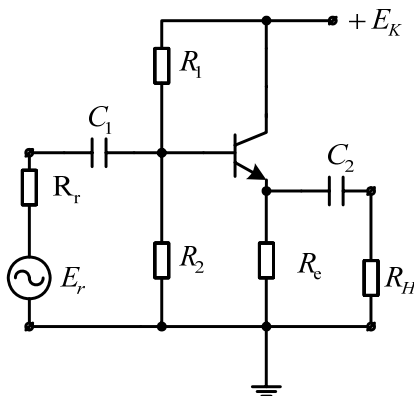


Рисунок 1 — Схема каскада с ОК

Здесь рассматривается вариант расчета, при котором не задается никаких ограничений и требуется получить оптимальное решение.

В этом случае надо определить или задать критерий оптимальности. Поскольку у таких каскадов очень низкий КПД, можно считать оптимальной схему с максимальным КПД (при КПД=10% мощность, рассеиваемая каскадом в 10 раз превышает полезную мощность, а при КПД=5% — в 20 раз), или с максимальным усилением тока.

Параметрами, которые определяют все свойства каскада с общим коллектором, являются коэффициент усиления тока транзистора ($h_{21э}$), отношение $R_э$ к R_H и сопротивление входного делителя. Меняя эти параметры, можно получить необходимые характеристики устройства.

При расчете каскада с ОК по методике, предложенной в данной статье (изложенной ниже), напряжение питания определяется по формуле $E_{пит} = U_{кэп} \cdot (2 + \frac{R_э}{R_H})$. Зависимость

$E_{пит}$ от величины $R_э / R_H$ показана на рис.2.

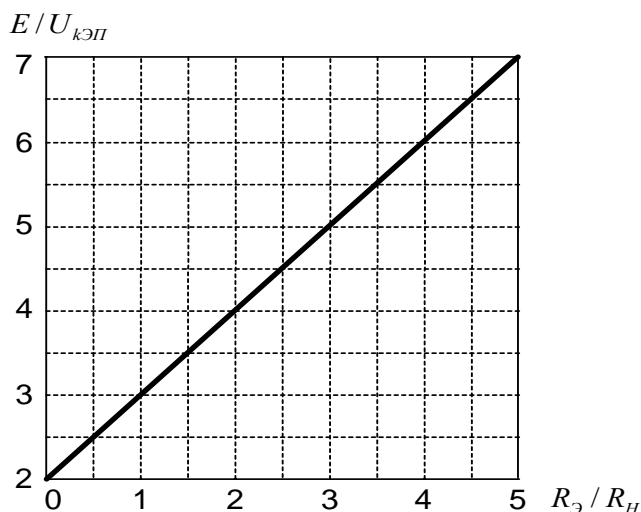


Рисунок 2 — Зависимость напряжения питания от отношения $R_э$ к R_H .

На этом графике по оси ординат также отложена безразмерная величина: отношение E питания к $U_{кэп}$. Последнее напряжение примерно равно максимальной амплитуде выходного напряжения (точнее, несколько больше).

Использование относительных величин в графиках позволяет применять их при любых значениях выходного напряжения и сопротивления нагрузки.

По той же методике ток покоя транзистора определяют по формуле:

$$I_{\text{эп}} = I_{\text{н. max}} \cdot \left(1 + \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{э}}}\right)$$

Эта зависимость в безразмерных величинах показана на рис.3.

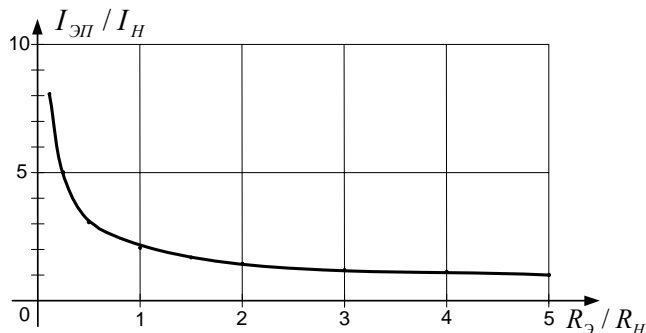


Рисунок 3 — Зависимость тока покоя от отношения $R_{\text{э}}$ к $R_{\text{н}}$

В обоих случаях мы исходим из того, что напряжение источника питания определяется, а напряжение на транзисторе в состоянии покоя равно максимальной амплитуде выходного напряжения.

Общая мощность рассеяния определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{н}} \cdot \left(2 + \frac{R_{\text{э}}}{R_{\text{н}}}\right) \cdot \left(1 + \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{э}}}\right).$$

Зависимость отношения мощности $P_{\text{об}} / P_{\text{н}}$ от $R_{\text{э}} / R_{\text{н}}$ приведена на рис. 4.

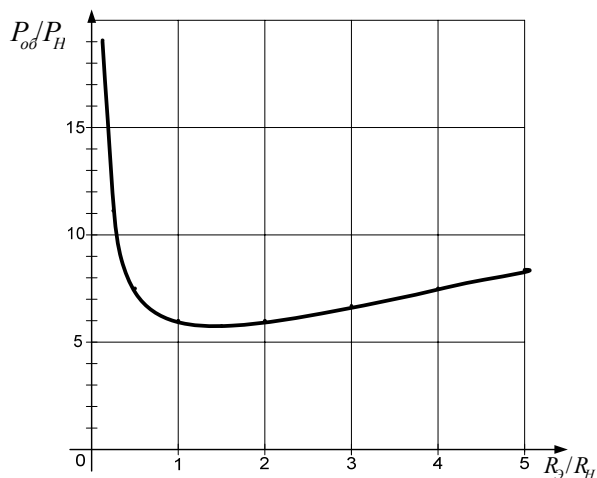


Рисунок 4 — Зависимость мощности рассеяния от отношения $R_{\text{э}}$ к $R_{\text{н}}$

Зависимость КПД от отношения $R_{\text{э}}$ к $R_{\text{н}}$ при максимальном выходном напряжении без учета потерь во входной цепи определяется по формуле

$$\text{КПД} = \frac{100\%}{\left(2 + \frac{R_{\text{э}}}{R_{\text{н}}}\right) \cdot \left(1 + \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{э}}}\right)},$$

приведена на рис. 5.

Максимальный КПД получается при $R_{\text{э}} = \sqrt{2} \cdot R_{\text{н}}$, но поскольку максимум пологий, можно выбирать $R_{\text{э}}$ в пределах $R_{\text{э}} = (0,7...3) \cdot R_{\text{н}}$.

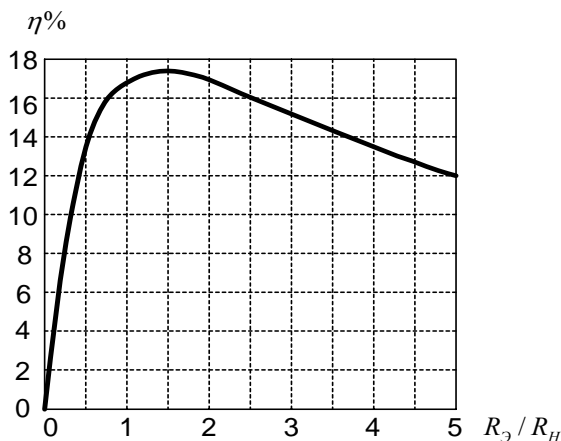


Рисунок 5 — Зависимость КПД от отношения R_3 к R_H без учета потерь во входной цепи

При этом меньшему R_3 соответствует меньшее напряжение питания (см. рис. 2).

В схеме с ОК можно выделить три элемента:

- 1) входная цепь;
- 2) транзистор;
- 3) выходная цепь.

Во входной и выходных цепях происходят потери тока, а транзистор ток увеличивает.

Входная цепь состоит из конденсатора C_1 , делителя напряжения R_1 и R_2 и цепи базы транзистора.

Сопротивлением конденсатора C_1 в полосе пропускания каскада можно пренебречь.

Тогда коэффициент передачи тока входной цепи зависит от отношения сопротивлений делителя и входного сопротивления (цепи базы) транзистора

$$K_{i_{ex}} = \frac{i_{\delta}}{i_{ex}} = \frac{R_{ex.cx}}{R_{ex.mp}};$$

где i_{δ} — ток базы, i_{ex} — входной ток схемы с ОК,

$$R_{ex.mp} = (R_3 \parallel R_H) \cdot h_{21Э},$$

$$R_{ex.cx} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_{ex.mp}.$$

Зависимость коэффициента передачи тока входной цепи от отношения R_3 к R_H и тока делителя определяется по формуле

$$K_{i_{ex}} = \frac{n + 1}{a(n + 2) + (n + 1)},$$

где $n = \frac{R_3}{R_H}$, $a = \frac{i_{\delta}}{i_{\delta}}$ и приведена на рис. 6.

Из графиков видно, что максимальный коэффициент передачи тока входной цепи будет при минимальном токе делителя и мало зависит от отношения R_3 к R_H . Значение $K_{i_{ex}}$ при $i_{\delta} = i_{\delta}$ (т.е. при $R_2 = \infty$) приведены для того, чтобы показать предельно возможный коэффициент усиление тока. При этом температурная зависимость наибольшая.

При расчете коэффициентов передачи тока во входной цепи (рис. 6) не учитывалось сопротивление r_3 . По этой причине расчет при $R_3 < 0.5R_H$ не приводится.

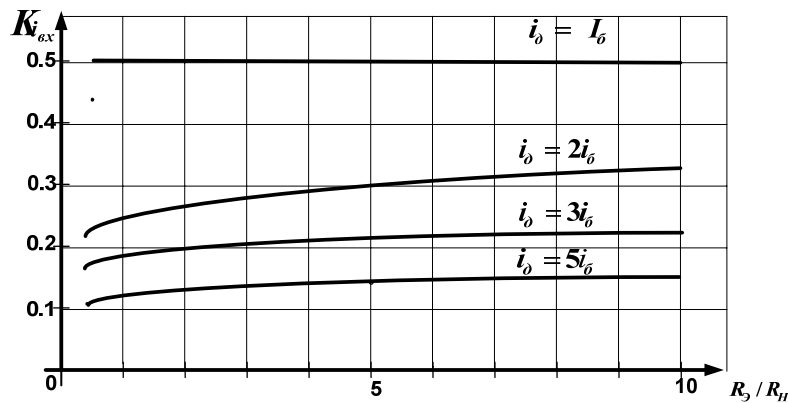


Рисунок 6 — Зависимость коэффициента передачи тока входной цепи от соотношения R_3 / R_H

Активное звено каскада — транзистор — увеличивает ток в h_{21} раз.

В выходной цепи ток делится между нагрузкой R_H и эмиттерным сопротивлением (R_3).

Зависимость коэффициента передачи тока в выходной цепи от отношения сопротивлений R_3 и R_H определяется из соотношения

$$K_{i_{\text{вых}}} = \frac{R_3}{R_3 + R_H}$$

и показана на рис. 7.

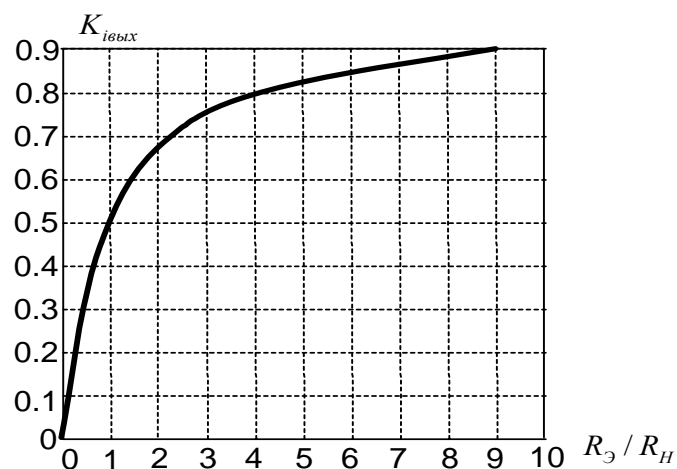


Рисунок 7 — Зависимость коэффициента передачи тока в выходной цепи от отношения R_3 к R_H

Из графика видно, что при уменьшении отношении R_3/R_H ниже единицы коэффициент передачи тока резко уменьшается.

При увеличении отношения R_3/R_H больше трех коэффициент передачи тока увеличивается незначительно.

Значение общего коэффициента усиления тока схемы с ОК приведена на рис. 8.

Из графиков видно, что целесообразно выбирать ток делителя в 2...3 раза больше i_0 , а R_3 — не более $3R_H$.

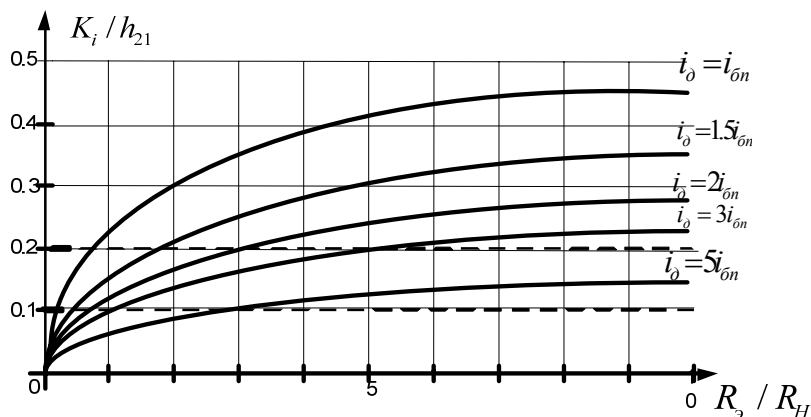


Рисунок 8 — Відносний коефіцієнт передачі струму в схемі з ОК

С урахуванням викладеного пропонується наступна методика розрахунку:

- 1) Визначити величину R_3 і вибрати з заданого ряду;
- 2) Визначити і вибрати величину E_{num} відповідно до $\max U_{max}$;
- 3) Визначити вимоги до транзистору (потужність, максимальне колекторне напруга, максимальний колекторний струм, коефіцієнт посилення струму h_{21}) і вибрати підходящий з довідника;
- 4) Визначив струм бази, задати струм вхідного делителя, визначити опору делителя і вибрати відповідно до потужності розсіювання з довідника з урахуванням заданого ряду;
- 5) Визначити ємкості конденсаторів і вибрати їх номінал і тип з довідника.

Порядок розрахунку відповідно до методики

Як правило, задається $U_{вых.макс}$, R_H , f_B , f_H , M , K_i , ряд резисторів, і умова, наприклад, максимальний КПД.

- 1) Вибірємо схему (див. рис 1);
- 2) Вибірємо R_3 в межах $(1...2)R_H$, краще ближче до $\sqrt{2}R_H$ з заданого ряду;
- 3) Визначаємо $U_{эн} = \frac{1.4U_{вых.макс}}{R_H} \cdot (R_H + R_3) + (1...2)B$;
- 4) Визначаємо $U_{кэн} = 1.4U_{вых.макс} + (1...2)B$;
- 5) Знаходимо $E_{num} \geq U_{эн} + U_{кэн}$ і вибірємо по довіднику;
- 6) Визначаємо $i_{э.макс} = \frac{E_{num}}{R_3} + i_{н.макс}$;
- 7) Знаходимо $P_{макс} = \frac{E_{num}^2}{4(R_3 || R_H)}$;
- 8) Вибірємо транзистор по наступним параметрам: $U_{к.дон} > E_{num}$, $i_{к.дон} > i_{э.макс}$, $P_{дон} > P_{макс}$, $f > f_{а}$, $h_{21} > (3...10)K_i$ (коефіцієнт в дужках вибірється по графіку рис. 6 з урахуванням вибраного в п.2 R_3). Випишуємо параметри, застосовані в цьому пункті, а також $U_{бэ}$.
- 9) Визначаємо $i_{б} = \frac{i_{эн}}{h_{21 \min}}$, де $i_{эн} = \frac{U_{эн}}{R_3}$;
- 10) Визначаємо $i_{о}$ по графіку рис. 8, (чим менше $i_{о}$, тим більше КПД і k_i);

11) Определяем $R_1 = \frac{U_{ксп} - U_{бэ}}{i_0}$;

12) Определяем $R_2 = \frac{U_{эн} + U_{бэ}}{i_0 - i_6}$.

Выбираем R_1 и R_2 так, чтобы отношение выбранных величин возможно меньше отличалась от расчетного.

Емкости конденсаторов C_1 и C_2 определяем по заданным значениям f_H и M_H .

Выводы

Рассчитанные по предлагаемой методике устройства имеют необходимые параметры и не требуют никаких настроек или подгонок.

Используя предложенную методику расчета можно построить каскад с общим коллектором, обладающий оптимальными параметрами.

1. Для максимального КПД, то отношение R_3 к R_H нужно взять порядка 1.4 (см. рис. 2), а требуемый коэффициент усиления тока получать за счет входного делителя и транзистора (см.рис.6).

2. Для максимального коэффициента усиления тока, нужно принять $R_3 \approx 3R_H$ и максимально увеличить сопротивление входного делителя (см. рис. 2 и 6). При этом КПД будет достаточно высоким, однако при этом увеличится напряжение питания.

Список использованной литературы

1. Схемотехника электронных систем: у 3 кн. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: підручник / В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.О. Жуйков та ін. — 2-ге вид., допов. і переробл. — К.: Вища школа, 2004. — К 1. — 366 с.
2. Константинов С.В. Учебное пособие по расчету транзисторных усилительных каскадов / С.В. Константинов. — Донецк: ДонНТУ, 2004. — 75 с.

Надійшла до редакції:
01.02.2012 р.

Рецензент:
д-р техн.наук, проф. Зори А.А.

S.V. Konstantynov, T.V. Naydyenova. Getting the Best Performance of the Transistor Stage with a Common Collector for Use in Microcircuitry. In the article the computational methodology for transistor cascade with common collector is proposed. The methodology allows to get the optimal parameters such as maximal coefficient of efficiency and maximal current amplification.

Keywords: *optimal parameters, transistor cascade with common collector, maximal coefficient of efficiency, maximal current amplification.*

С.В. Константинов, Т.В. Найденова. Отримання оптимальних характеристик транзисторного каскаду з спільним колектором для використання в мікросхемотехніці. У статті запропонована методика розрахунку для транзисторного каскаду зі спільним колектором. Методика містить отримання оптимальних параметрів максимального коефіцієнта передачі струму та максимального КПД.

Ключові слова: *оптимальні параметри, транзисторний каскад зі спільним колектором, максимальний коефіцієнт передачі, максимальний КПД.*

© Константинов С.В., Найденова Т.В., 2012