

Практическая работа «РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ»

В практической работе студентам необходимо рассчитать усилительный каскад переменного тока графо-аналитическим методом.

По результатам выполненной практической работы проводится ее рецензия преподавателем, либо она возвращается на доработку. После доработки для повторного рецензирования практической работы в текст обязательно включать формулировку дополнительных необходимых вопросов, полученных после рецензирования.

Практическая работа выполняется и высылается на проверку преподавателю в соответствии с графиком изучения дисциплины.

1. Варианты практической работы

1. Исходными данными для выполнения практической работы является заданный тип биполярного транзистора. Для заданного транзистора из справочника приводится: его краткое описание; тип транзистора (*n-p-n*, *p-n-p*), полный перечень предельных и номинальных параметров, статические входные и выходные вольт-амперные характеристики, а также конструкция его корпуса [4, 5].

Номер варианта выдается случайным образом в электронном курсе.

2. Общие методические указания

2.1. Предельные режимы работы транзистора

В паспортных данных каждого транзистора указывается его предельно допустимая мощность рассеивания, превышение которой недопустимо, т.к. ведет к тепловому разрушению полупроводниковой структуры. Возьмем это значение мощности $P_{к доп}$ и, учитывая, что оно равно

$$P_{к доп} = U_{кэ} I_{к доп}, \quad (1)$$

будем задавать дискретные значения напряжения $U_{кэ} : U_{кэ1}, U_{кэ2}, U_{кэ3}$ и т.д., и для каждого этого значения напряжения вычислим предельно допустимое значение коллекторного тока $I_{к доп}$:

$$I_{к доп1} = \frac{P_{к доп}}{U_{кэ1}}, I_{к доп2} = \frac{P_{к доп}}{U_{кэ2}} \text{ и т.д.}$$

Отложим эти значения напряжений и токов в осях координат (рис. 1) и построим по полученным точкам кривую, называемую *гиперболой допустимых мощностей*.

Эта кривая делит всю площадь первого квадранта семейства выходных характеристик на рабочую и нерабочую области. Если теперь совместить эту кривую с выходными характеристиками транзистора, то очевидно, что линия нагрузки не должна выходить за пределы рабочей области, чтобы не вывести транзистор из строя.

На рис. 1 заштрихована рабочая область семейства выходных характеристик транзистора для схемы с общим эмиттером.

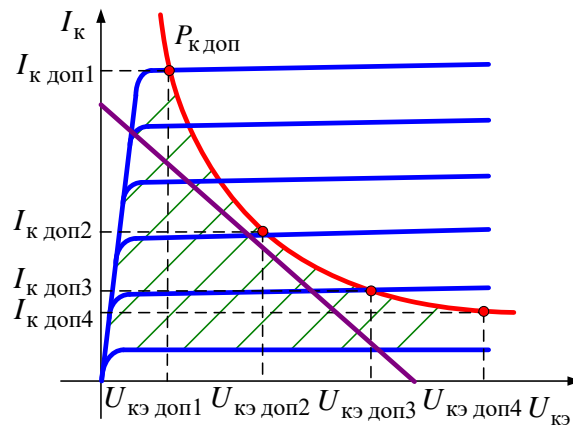


Рис. 1. Гипербола допустимых мощностей

2.2. Расчёт рабочего режима транзистора

Как уже было отмечено выше, в подавляющем большинстве случаев транзистор усиливает сигналы переменного тока, т. е. на вход транзистора подается чаще всего знакопеременный сигнал. Но поскольку эмиттерный $p-n$ -переход обладает вентильными свойствами, то через него пройдет только положительная полуволна входного сигнала, а отрицательная полуволна будет им срезана и, следовательно, усиливаться не будет. Для того чтобы этого не было, чтобы усилить весь сигнал, во входную цепь транзистора вводят так называемое *смещение*.

Смысл смещения ясен из рис. 2.

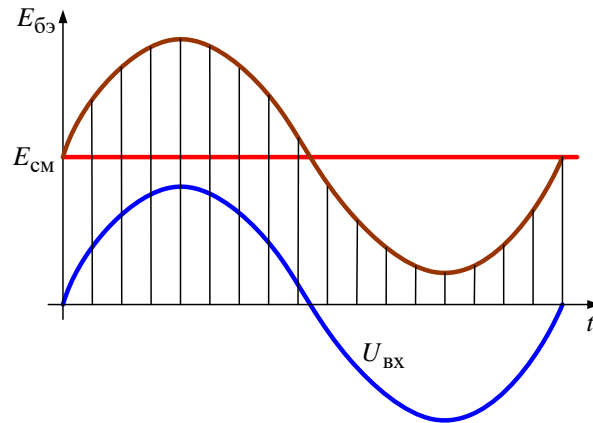


Рис. 2. Смещение усиливаемого сигнала

Знакопеременный входной сигнал $U_{\text{вх}}$ накладывается на постоянное напряжение смещения $E_{\text{см}}$ таким образом, что результирующее напряжение $U_{\text{бэ}}$ остается однополярным и, следовательно, может быть усилено транзистором. Поэтому принципиальная схема усилительного каскада в этом случае выглядит так, как представлено на рис. 3, а.

Источник напряжения смещения создает во входной цепи транзистора постоянный по величине ток смещения $I_{\text{см}}$. Для того чтобы исключить влияние источника $E_{\text{см}}$ на источник входного сигнала, в цепь вводится разделительный конденсатор C_1 , который пропускает переменный входной сигнал, но создает развязку по постоянной составляющей. Для такой же цели служит выходной разделительный конденсатор C_2 , который пропускает переменную составляющую выходного напряжения и не пропускает его постоянную составляющую.

Смещение может вводиться как при помощи отдельного источника $E_{\text{см}}$ (рис. 3, а), так и с использованием для этой цели источника коллекторного питания $E_{\text{к}}$. Это можно сделать при помощи делителя напряжения $R1$ и $R2$ (рис. 3, б). Ток $I_{\text{д}}$, протекающий по делителю напряжения $R1 - R2$ под действием источника питания $E_{\text{к}}$, создает на резисторе $R2$ падение напряжения

$$U_{R2} = I_{\text{д}} R2, \quad (2)$$

которое должно быть равно требуемой величине напряжения смещения $E_{\text{см}}$.

При расчете делителя ток $I_{\text{д}}$ выбирают в несколько раз больше тока смещения:

$$I_{\text{д}} = (3 \dots 5) I_{\text{см}}. \quad (3.48)$$

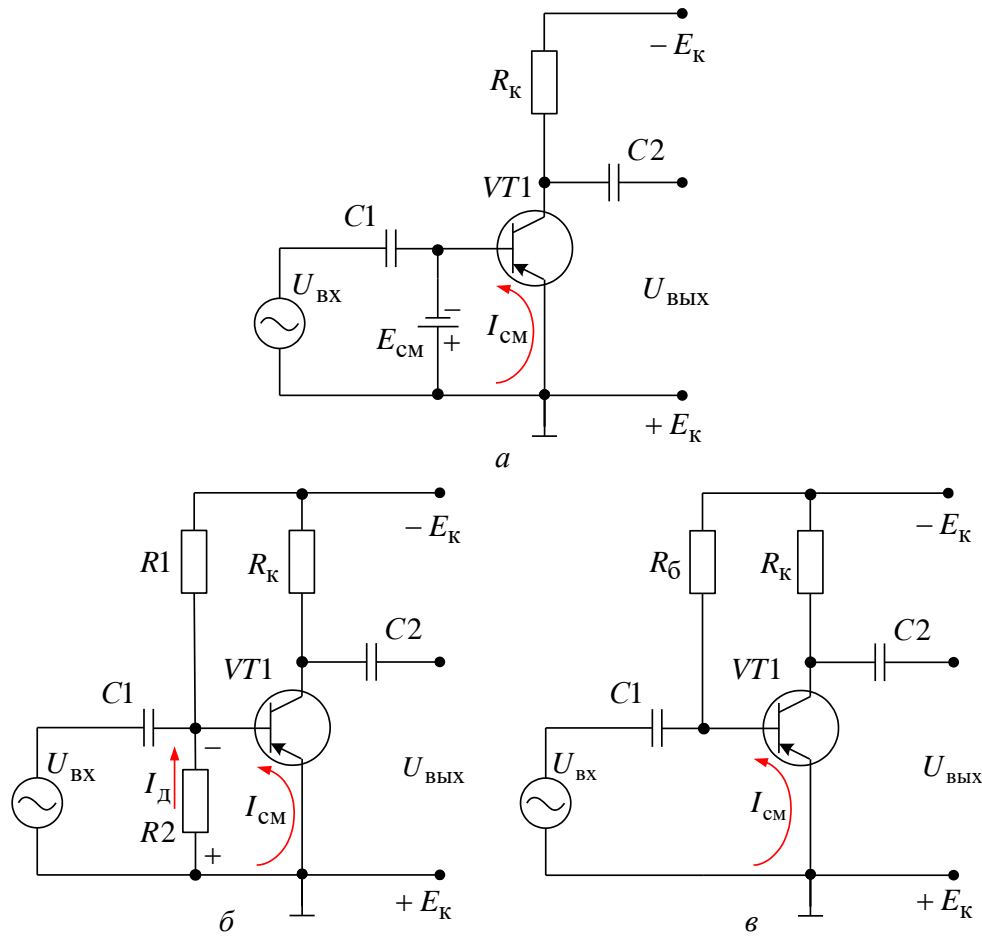


Рис. 3. Способы создания смещения входного сигнала:
 а – введением источника E_{CM} ; б – фиксированным напряжением;
 в – фиксированным током

Избыточное напряжение источника питания падает на резисторе $R1$:

$$I_D R1 = E_K - U_{R2}. \quad (3)$$

Такой способ введения смещения называется *смещение фиксированным напряжением*.

Другой способ введения смещения заключается в использовании балластного резистора $R_б$ в базовой цепи транзистора (рис. 3, в). В этом случае ток, протекающий по цепи $(+E_K$; эмиттер – база транзистора; $R_б$; $-E_K$), должен быть равен току смещения

$$I_{CM} = \frac{E_K - U_{бэ}}{R_б}. \quad (4)$$

Отсюда величина $R_б$ должна быть равна

$$R_б = \frac{E_K - U_{бэ}}{I_{CM}}. \quad (5)$$

Такой способ называется *смещение фиксированным током*.

2.3. Динамические характеристики транзистора

Характеристики транзистора, когда в его выходную цепь включают различные виды нагрузок, называют динамическими, а режимы, возникающие при этом, – *динамическими режимами*.

Рассмотрим работу транзисторного усилительного каскада, включенного по схеме с общим эмиттером (рис. 4). Если входной сигнал отсутствует ($u_{\text{вх}} = 0$), линия нагрузки может быть построена описанным

ранее методом по двум точкам: $E_{\text{к}}$ на оси абсцисс и $I_{\text{к max}} = \frac{E_{\text{к}}}{R_{\text{к}}}$ на оси ординат.

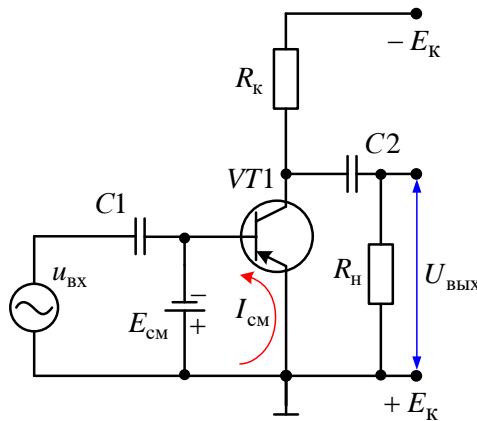


Рис. 4. Схема усилительного каскада

Для того чтобы искажения усиливаемого сигнала были минимальными, смещение надо выбрать так, чтобы начальная рабочая точка (при отсутствии входного сигнала) располагалась в середине линейного участка входной характеристики (точка А на рис. 5, б).

Тогда, при изменении входного сигнала, напряжение $U_{\text{бэ}}$ будет изменяться на величину $U_{\text{бэ max}}$ от начального значения $U_{\text{бэ 0}}$, вызывая изменение базового на величину $I_{\text{б max}}$ от начального значения $I_{\text{б 0}}$ (рис. 5, б). Коллекторный ток при этом будет изменяться относительно начального коллекторного тока $I_{\text{к 0}}$ (рис. 5, б), соответствующего базовому току $I_{\text{см}}$, в сторону увеличения и в сторону уменьшения на величину амплитуды переменной составляющей $I_{\text{к max}}$. Выходное напряжение $u_{\text{вых}}$ при этом будет тоже изменяться от начального значения $U_{\text{кэ 0}}$ в большую и в меньшую сторону на величину амплитуды своей переменной составляющей $U_{\text{кэ max}}$.

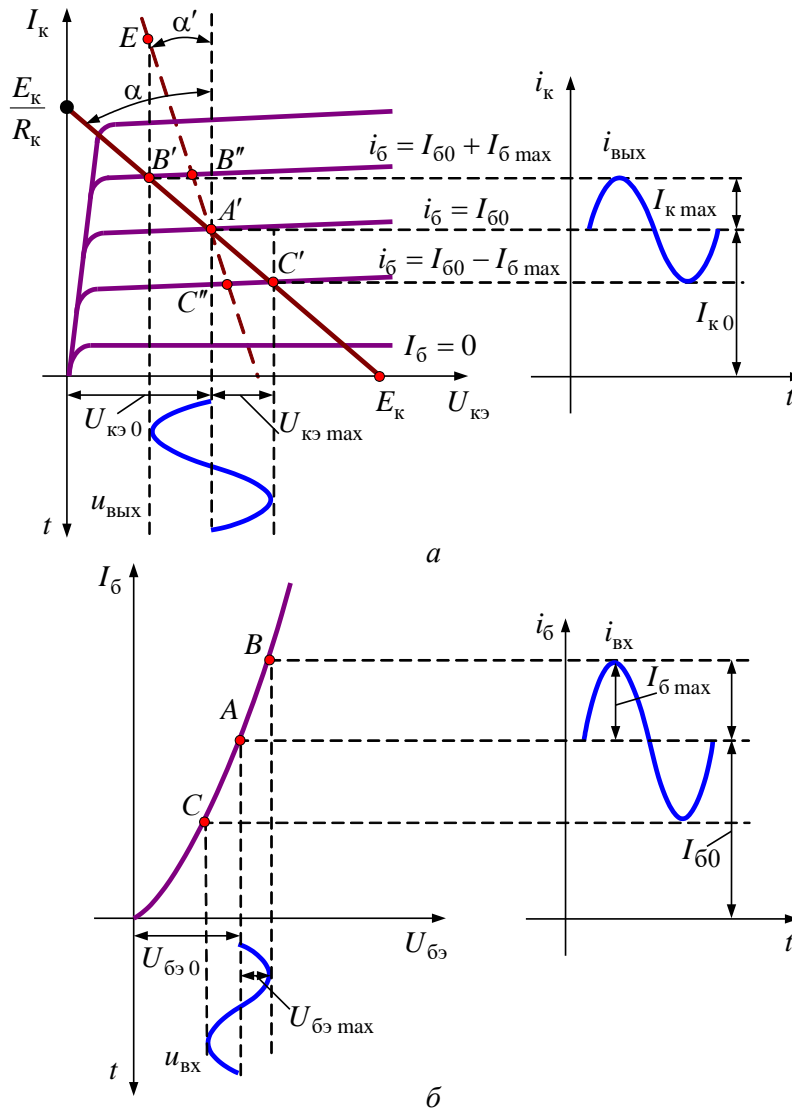


Рис. 5. Динамические характеристики транзистора

Отметим, что в рассматриваемой схеме увеличению входного сигнала соответствует увеличение базового тока, а следовательно и коллекторного тока, а выходное напряжение $u_{ВЫХ}$ при этом уменьшается. Из чего следует, что в этой схеме входное и выходное напряжения изменяются в противофазе. Переменная составляющая выходного напряжения проходит через разделительный конденсатор C_2 и выделяется на нагрузке R_H . В качестве нагрузки может служить и входное сопротивление следующего каскада усиления, а характер нагрузки в общем случае может быть различным. По переменному току нагрузка усилительного каскада R_H состоит из параллельно включенных сопротивлений R_K и R_H (рис. 5):

$$R'_H = \frac{R_K R_H}{R_K + R_H}, \quad (6)$$

а по постоянному току – только R_K . Поэтому и линия нагрузки по постоянной и переменной составляющим будет проходить по-разному. Так, если сопротивление нагрузки R'_H по переменному току меньше R_K – сопротивления по постоянному току, то линия нагрузки будет проходить через ту же рабочую точку A , но под другим углом α' :

$$\alpha' = \arctg(R'_H), \quad (7)$$

следовательно, линия нагрузки пойдет круче.

Рассмотренные зависимости можно расположить на одном рисунке так, что в первом квадранте поместить выходные характеристики транзистора с построенной линией нагрузки, а в третьем квадранте – входные характеристики (рис. 6). Тогда, используя точки пересечения линии нагрузки по переменному току с выходными характеристиками и входные характеристики транзистора, строим характеристику управления $I_K = f(I_6)$ транзистора по переменному току, которая теперь, при работе с нагрузкой, называется *динамической*.

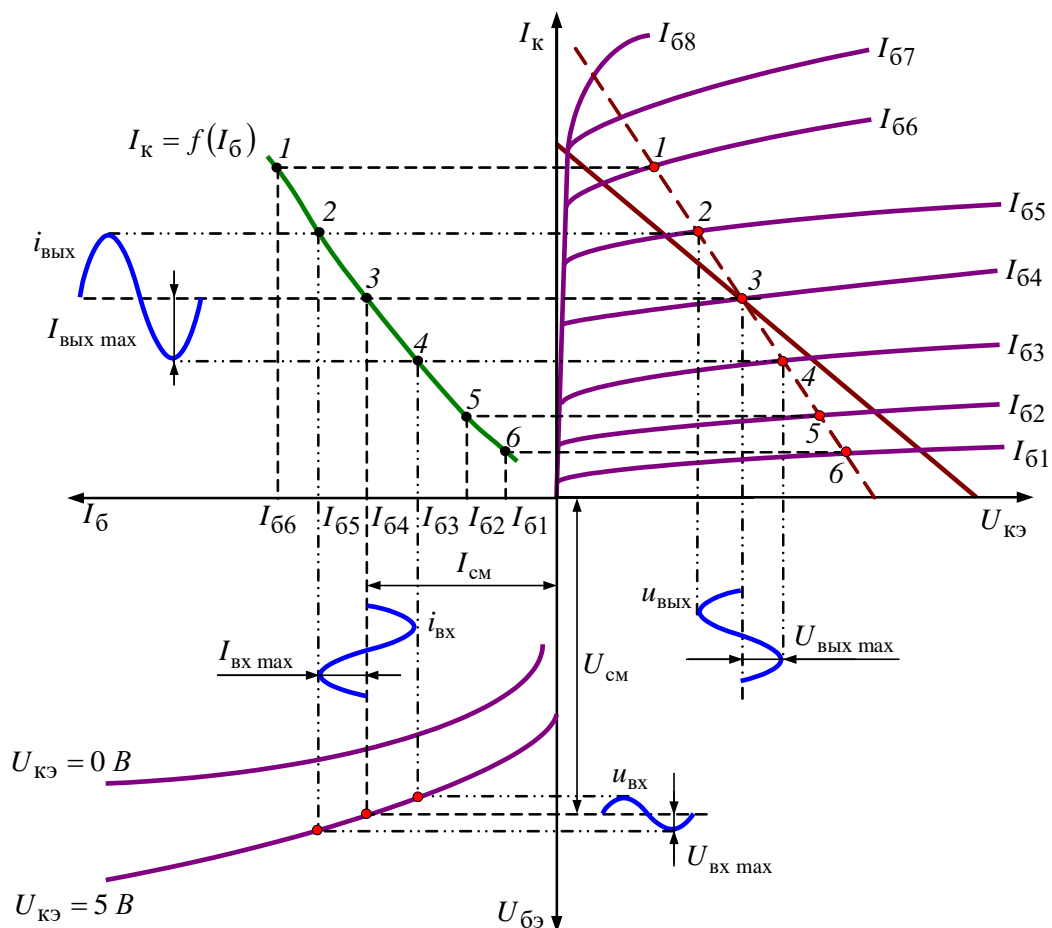


Рис. 6. Динамические характеристики транзистора

2.4. Режим класса *A*

Режим класса *A* характеризуется тем, что начальная рабочая точка, определяемая смещением, находится в середине линейного участка входной характеристики, а следовательно и характеристики передачи по току $I_K = f(I_{\bar{6}})$. Амплитуда входного сигнала здесь такова, что суммарное значение $(U_{\text{см}} + u_{\text{вх}})$ не имеет отрицательных значений, а поэтому базовый ток $i_{\bar{6}}$, а следовательно и коллекторный ток i_K нигде не снижаются до нуля (рис. 7).

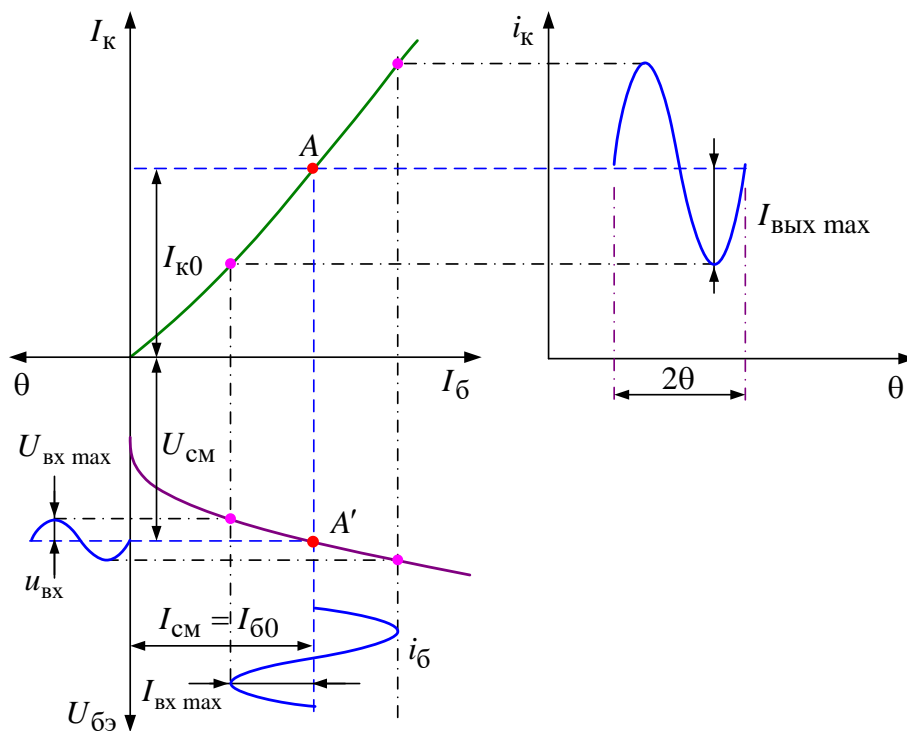


Рис. 7. Усиление в режиме класса *A*

Ток в выходной цепи протекает в течение всего периода, а угол отсечки θ равен 180° . Транзистор работает в активном режиме на близких к линейным участкам характеристик, поэтому искажения усиливаемого сигнала здесь минимальны. Однако из-за большого значения начального коллекторного тока I_{K0} КПД такого усилителя низкий (теоретически не более 25 %, а реальные значения и того ниже), поэтому такой режим применяют в маломощных каскадах предварительного усиления.

3. Учебно-методическое обеспечение

1. Глазачев А.В., Петрович В.П. Физические основы электроники: Учебное пособие / – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 212 с.

2. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД: справочник. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 325 с.

3. Валенко В.С. Полупроводниковые приборы и основы схемотехники электронных устройств / под ред. А.А. Ровдо. – М.: Издат. дом «Додэка XXI», 2001. – 368 с.

4. Лавриненко В.Ю. Справочник по полупроводниковым приборам. 10-е изд. перераб. и доп. – К.: Техніка, 1984. – 424 с.

5. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник/ К.М. Брежнева, Е.И. Гантман, Т.И. Давыдова и др. Под ред. Б.Л. Перельмана. – М.: Радио и связь, 1981. – 656 с.