

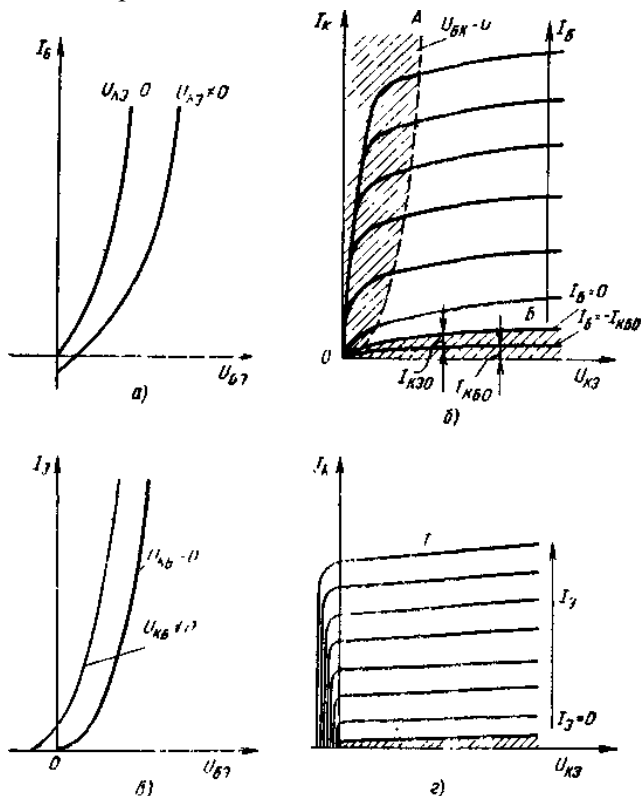
# Билет 10

## 1. Статические характеристики биполярного транзистора. Модель Эберса-Мола.

### Статические характеристики.

Транзистор как четырехполюсник характеризуется входной и выходной статическими ВАХ. Статические входные и выходные ВАХ биполярного транзистора п-р-п-типа для схем включения с ОЭ и ОБ приведены на рис. 2.10. Они имеют явно выраженный нелинейный характер. При этом входные ВАХ (рис. 2.10) подобны прямой ветви ВАХ диода, а выходные (рис. 2.10, б, г) характеризуются вначале резким возрастанием выходного тока при возрастании выходного напряжения, а затем, по мере дальнейшего роста напряжения, незначительным его увеличением. Переход значений выходного тока на пологий участок соответствует границе области режима насыщения транзистора, когда оба перехода открыты. При этом на выходных характеристиках транзистора, включенного с ОБ, явно видны области двух режимов его работы: нормального режима, соответствующей обратному напряжению на коллекторном переходе (1 квадрант) и режима двойной инжекции, соответствующего прямому смещению коллекторного перехода (2 квадрант).

При включении транзистора в схему с ОЭ выходные характеристики полностью располагаются в 1-м квадранте. В то же время изменение положительного значения входного тока начинается не от нулевого значения входного напряжения, как в случае схемы с ОБ, а при некотором его положительном значении из-за падения напряжения на эмиттерном переходе от тока  $I_3$  при  $V_{кэФБ}$ .



На выходной характеристике транзистора можно выделить три области, отвечающие различным режимам работы транзистора:

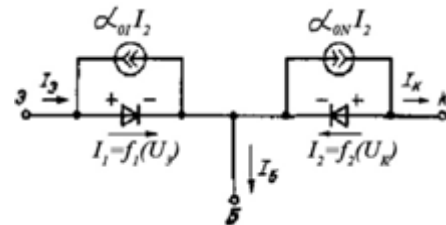
насыщения (заштрихованная область левее линии ОА — режим двойной инжекции); отсечки (заштрихованная область ниже линии ОБ, соответствующая закрытому состоянию транзистора; активной (незаштрихованная область между линиями ОА и ОБ), соответствующая активному состоянию транзистора

### Модель Эберса-Мола

**Эквивалентные схемы: Эберса-Мола.** Строится на базе физ. модели транзистора. Характеризует активную область. Схема отражает обратимость транзистора (равноправность переходов). Мат.

Описание:

$$\begin{cases} I_3 = I_1 - a_{01} I_2 \\ I_K = a_{0N} I_1 - I_2 \\ I_3 = I'_{ЭБ0} (e^{\frac{U_3}{U_T}} - 1) - a_{01} I'_{КБ0} (e^{\frac{U_K}{U_T}} - 1) \\ I_K = a_{0N} I'_{ЭБ0} (e^{\frac{U_3}{U_T}} - 1) - I'_{КБ0} (e^{\frac{U_K}{U_T}} - 1) \end{cases}$$



- 1) 1-я Система из эквивалентной схемы
- 2) 2-я Система при подстановке формул для переходов

## 2. Дифференциальные усилители

Дифференциальный усилитель — широко известная схема, используемая для усиления разности напряжений двух входных сигналов. В идеальном случае выходной сигнал не зависит от уровня каждого из входных сигналов, а определяется только их разностью. Когда уровни сигналов на обоих входах изменяются одновременно, то такое изменение входного сигнала называют синфазным. Дифференциальный или разностный входной сигнал называют нормальным или полезным.

По принципу построения дифференциальные усилительные каскады — это балансные (мостовые) усилительные каскады параллельного типа. Они обладают высокой стабильностью параметров при воздействии различных дестабилизирующих факторов, большим коэффициентом усиления дифференциальных сигналов и высокой степенью подавления синфазных помех.

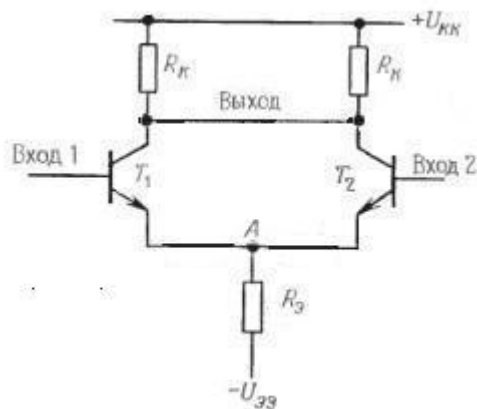


Рис. 2.67. Классический транзисторный дифференциальный усилитель.

На рисунке 2.67 показана основная схема дифференциального усилителя. Выходное напряжение снимается между коллекторами, если нужен дифференциальный сигнал. Если нужен несимметричный (инвертированный) сигнал, то снимает с одного из коллекторов (получится схема с однополюсным выходом).

Существуют усилительные и точностные параметры дифференциальных каскадов.

**К точностным параметрам относятся:** начальный разбаланс входного напряжения (или напряжение смещения нуля) и его температурные дрейф, средний входной ток и разбаланс входного тока.

**Усилительные параметры** стоит рассмотреть подробнее. Главными из них являются дифференциальный коэффициент усиления, синфазный коэффициент усиления, а также коэффициент подавления синфазной составляющей (синфазных напряжений).

- 1) Дифференциальный коэффициент. В симметричной схеме (такова показана на рисунке выше  $R_Э \gg r_Э$ ,

$$K_d = (R_k \cdot I_0) / 2 \cdot \Phi_T$$

Тут  $R_k$  – сопротивление коллектора,  $I_0$  – начальный ток эмиттера, а  $\Phi_T$  – температурный потенциал p-n перехода (для кремния равен 25 мВ)

- 2) Синфазный коэффициент усиления  
Для того чтобы определить синфазный коэффициент усиления – нужно на оба входа подать одинаковые сигналы  $U_{вх}$

$$K_c = R_k / (2 \cdot R_Э) = \Delta(U_{вых}) / \Delta(U_c)$$

Величина синфазного коэффициента усиления уменьшается при увеличении величины эмиттерного резистора, поскольку при этом уменьшается величина изменения  $I_0$  при изменении потенциала  $U_Э$ .

- 3) Легко определить коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС)

$$K_{осс} = K_d / K_c$$

Этот коэффициент характеризует способность ДК ослаблять одинаковые изменения параметров самого ДК и одинаковых составляющих входных сигналов.

Также в качестве параметров можно рассматривать **сопротивления каскада**.

- 1) Входное дифференциальное сопротивление  $R_{вх.д.} = 2r_{бэ}$
- 2) Входное синфазное сопротивление  $R_{вх.с.} = \beta \cdot R_Э$
- 3) Выходное сопротивление не может быть дифференциальным или синфазным. Его величина  $R_{вых} = R_k \cdot R_{кэ} / (R_k + R_{кэ})$  формируется

между коллекторами транзисторов дифференциального каскада.

Существует множество других схем дифференциальных усилителей. Среди них - ДУ с нелинейным двухполюсником в цепи эмиттеров, ДУ с несимметричным входом и выходом, ДУ на составных транзисторах, ДУ каскада на полевых транзисторах и другие.

На всякий случай.

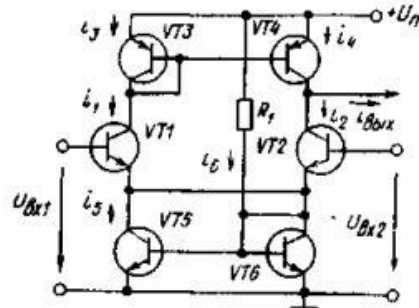


Рис. 6.32 Дифференциальный усилительный каскад с динамической нагрузкой

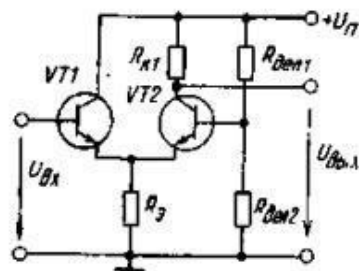


Рис. 6.33. Дифференциальный усилительный каскад с несимметричным входом и выходом

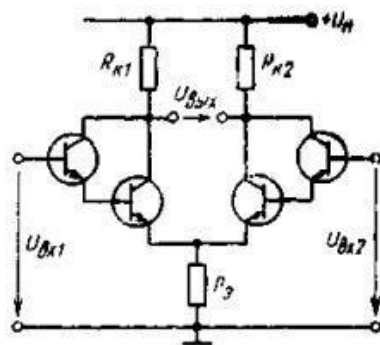


Рис. 6.35. Дифференциальный усилительный каскад на составных транзисторах

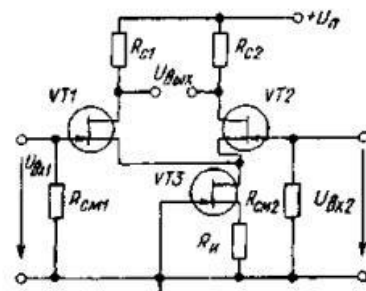


Рис. 6.34 Дифференциальный усилительный каскад на полевых транзисторах