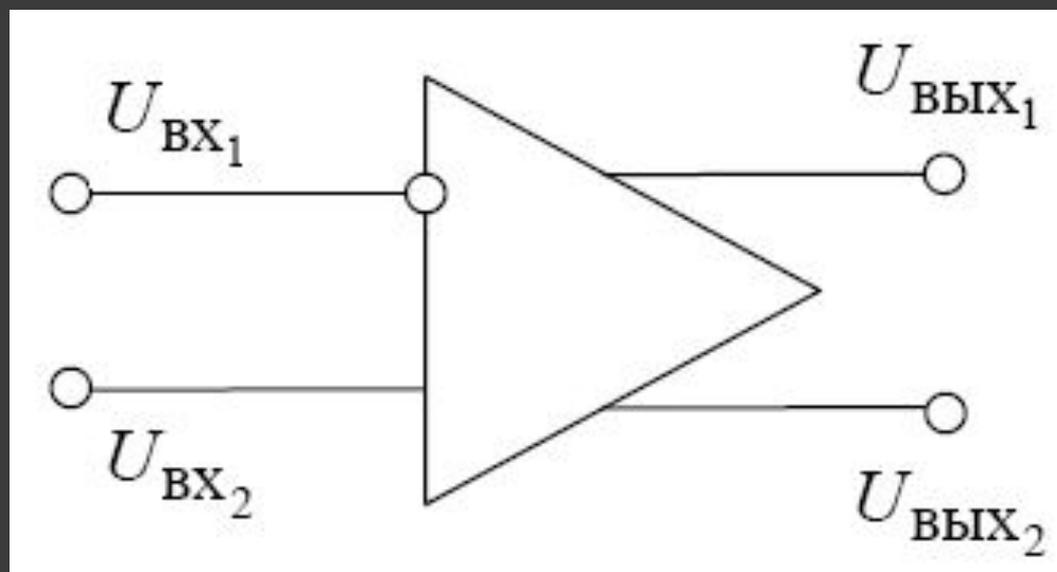


**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬН
ЫЙ
УСИЛИТЕЛЬ**

Дифференциальный усилитель



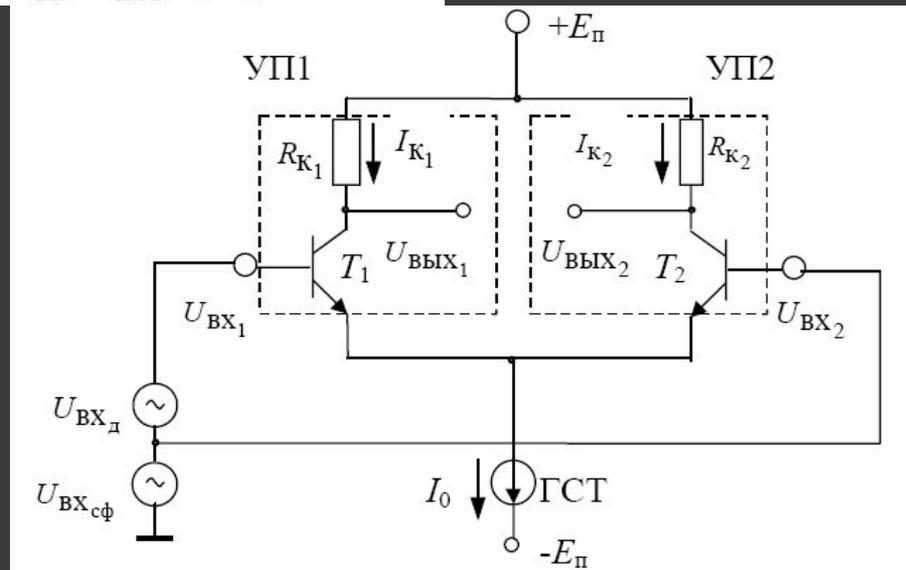
Общие сведения о дифференциальных усилителях постоянного тока:

Сигнал, равный разности напряжений на входах ДУ, называется дифференциальным ($U_{вхд} = U_{вх1} - U_{вх2}$).

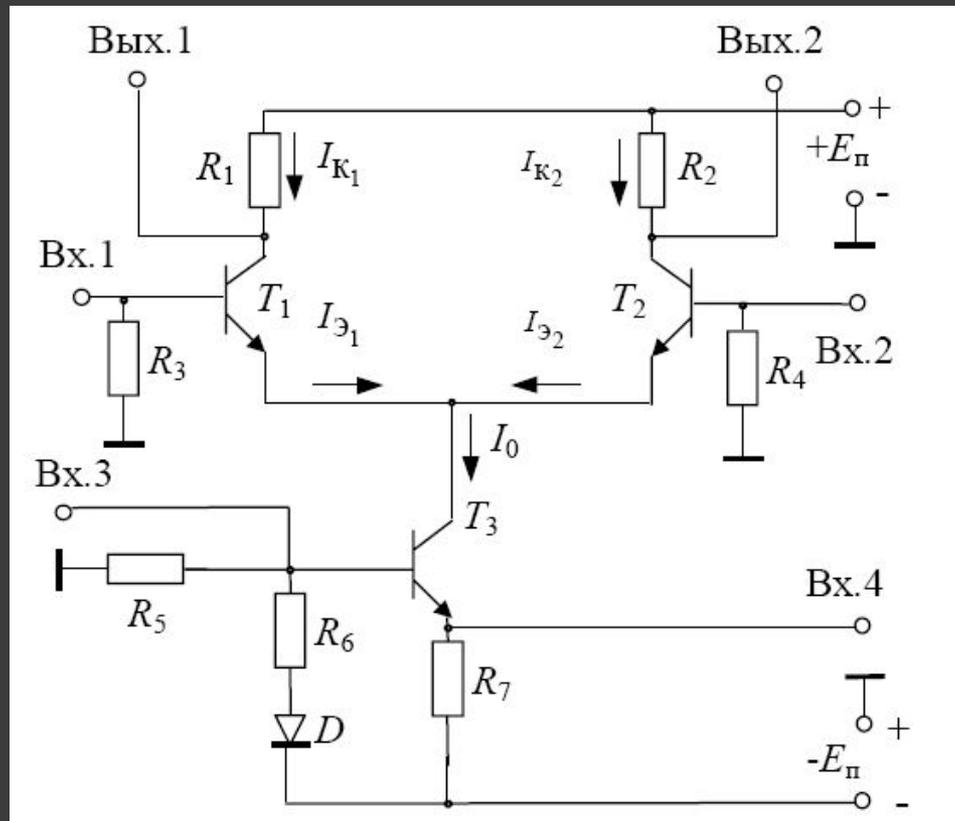
Сигнал, являющийся общим для первого и второго входов ДУ, называется синфазным входным сигналом $U_{вхсф}$.

Функционально ДУ состоит из двух симметричных усилительных плеч (УП1 и УП2) и генератора стабильного тока (ГСТ).

$$I_0(T^0, +E_{II}, -E_{II}, U_{ВХ}, t, \dots) = \text{const.}$$



Упрощенная схема ду с подключенными источниками дифференциального синфазного сигнала



Принципиальная схема ДУ с транзисторным токопитающим каскадом

Усилитель состоит из дифференциального каскада на транзисторах T_1 , T_2 с нагрузочными резисторами R_1 , R_2 и токопитающего каскада на транзисторе T_3 , выполняющего роль источника тока для эмиттерной цепи транзисторов T_1 и T_2 .

Сумма эмиттерных токов транзисторов $T1$ и $T2$ равнатоку

I_0 :

$$I_{Э_1} + I_{Э_2} = I_0.$$

Согласно рисунку дифференциальное входное напряжение ДУ равно

$$U_{ВХД} = U_{БЭ_1} - U_{БЭ_2} = U_{ВХ_1} - U_{ВХ_2}$$

коллекторные токи I_{K1} и I_{K2} равны:

$$I_{K_1} = \alpha I_0 \left[1 + \exp\left(-U_{\text{ВХ}_D} / \varphi_T\right) \right]^{-1},$$
$$I_{K_2} = \alpha I_0 \left[1 + \exp\left(+U_{\text{ВХ}_D} / \varphi_T\right) \right]^{-1},$$

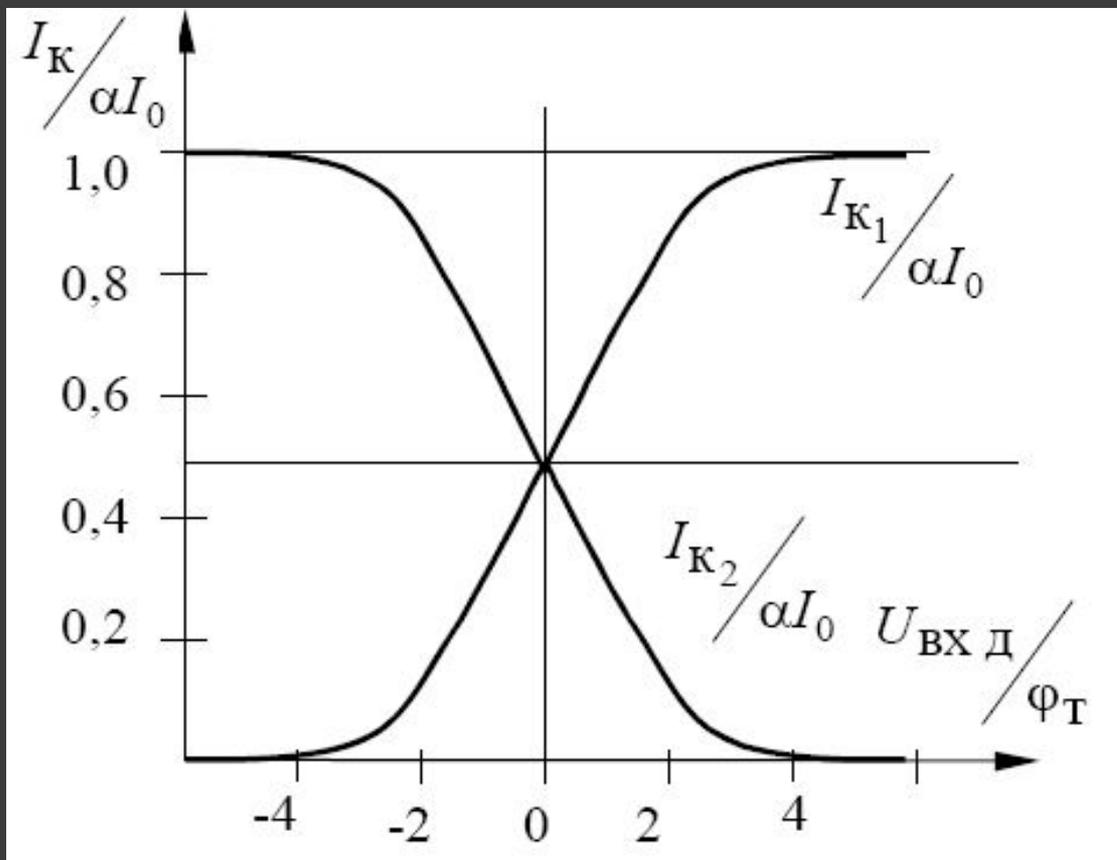
где α - коэффициент передачи эмиттерного тока в цепь коллектора;

φ_T - температурный потенциал.

Эти выражения определяют передаточные характеристики ДУ,

графики приведены в относительных координатах

$$I_K / \alpha I_0 = f(U_{\text{ВХ}_D} / \varphi_T).$$



Передаточные характеристики ДУ

Графики приведены в относительных координатах

$$I_K / \alpha I_0 = f(U_{ВХ Д} / \varphi_T).$$

Наклон передаточных характеристик определяет крутизну ДУ:

$$S_1 = \frac{dI_{K_1}}{dU_{BX_d}} = \frac{\alpha I_0 \exp(-U_{BX_d}/\varphi_T)}{\varphi_T \left[1 + \exp(-U_{BX_d}/\varphi_T)\right]^2},$$

$$S_2 = dI_{K_2}/dU_{BX_d} = -S_1.$$

$$S_2 = dI_{K_2}/dU_{BX_d} = -S_1.$$

Равенство $S_2 = -S_1$ справедливо в силу условия ,

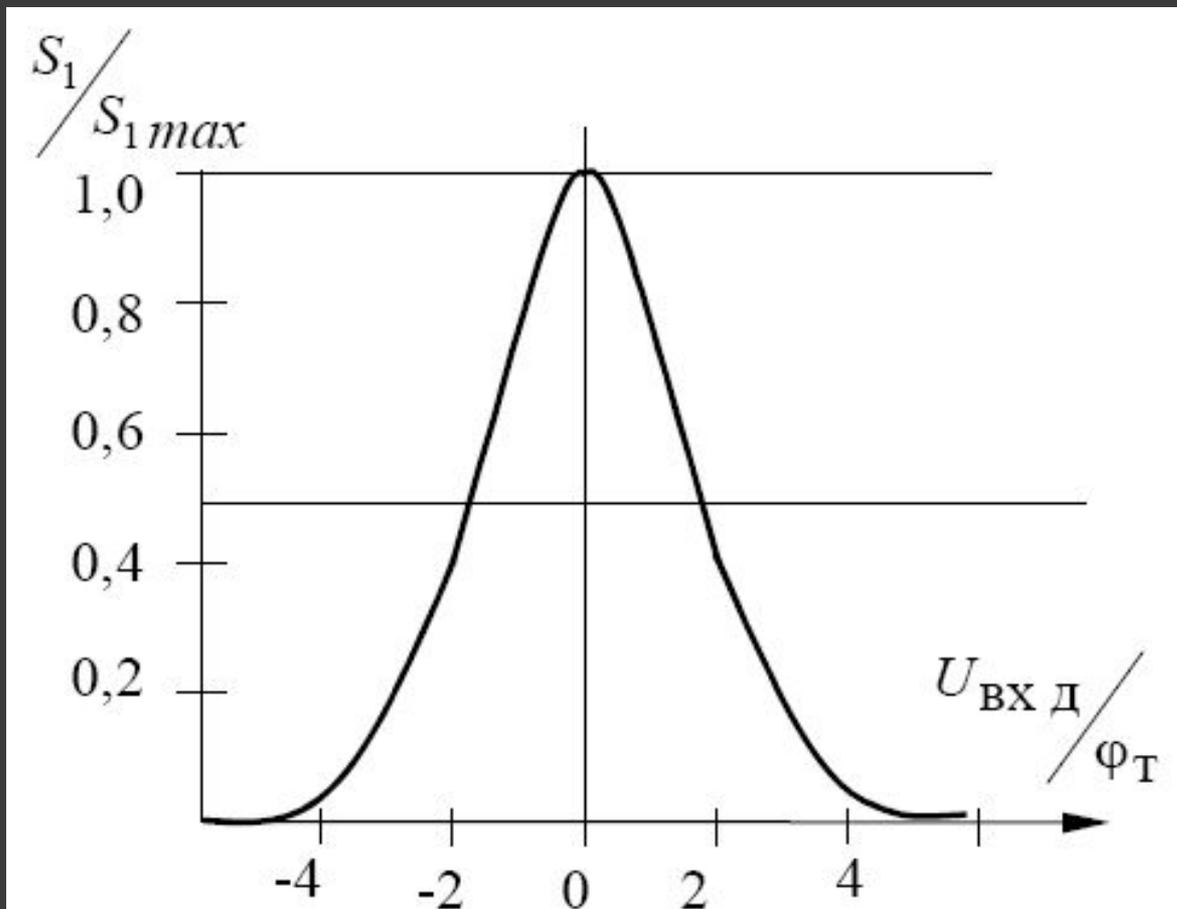
$$I_{K_1} + I_{K_2} = \alpha I_0 = \text{const}$$

откуда следует, что $dI_{K_1} = -dI_{K_2}$. Анализируя выражение (1), находим, что максимальное значение крутизны

$$S_{1 \max} = \alpha I_0 / 4\varphi_T \quad (2)$$

Имеет место при

$$U_{BX_d} = 0$$



На рисунке приведен график зависимости относительной крутизны S_1/S_{1max} от относительной величины дифференциального входного напряжения.

В симметричном ДУ с идеальным ГСТ при отсутствии входного дифференциального сигнала ($U_{вхд} = 0$) напряжение между его выходами

$$U_{ВЫХ_2} - U_{ВЫХ_1} = 0$$

что способствует режиму баланса. Можно считать коллекторные токи тоже одинаковые

$$I_{К_1} = I_{К_2} = \frac{I_0}{2}$$

Эти токи, протекая по резисторам $R_{К_1} = R_{К_2} = R_{К}$ ают синфазный уровень напряжения баланса $U_{вых1} = U_{вых2}$, который можно рассчитать по формуле

$$U_{ВЫХ_{1,2}} = E_{П}^+ - \frac{I_0}{2} R_{К}$$

Если на входе ДУ появится дифференциальный сигнал $U_{вхд}$, то коллекторные токи БТ T_1 и T_2 начнут перераспределяться: ток $I_{к1}$ будет увеличиваться, а ток $I_{к2}$ - уменьшаться с сохранением равенства, которое гарантируется идеальным ГСТ.

$$I_{К_1} + I_{К_2} = I_0$$

Напряжение $U_{\text{ВЫХ}_1} = E_{\Pi}^+ - I_{\text{К}_1} R_{\text{К}}$ инвертируется по фазе, а напряжение

$$U_{\text{ВЫХ}_2} = E_{\Pi}^+ - I_{\text{К}_2} R_{\text{К}}$$

не инвертируется по фазе относительно входного сигнала. В связи с этим первый вход ДУ называют инвертирующим, второй – неинвертирующим.

Выходной дифференциальный сигнал ДУ равен

$$U_{\text{ВЫХ}_\text{Д}} = U_{\text{ВЫХ}_2} - U_{\text{ВЫХ}_1} = (I_{\text{К}_1} - I_{\text{К}_2}) R_{\text{К}}$$

Способность обнаружения малых дифференциальных сигналов на фоне больших синфазных ЭДС является одной из важнейших характеристик качества исполнения ДУ.

Основные свойства ДУ

1. При $U_{ВХ_Д} = 0$ транзисторы $T1$ и $T2$ сбалансированы по току,

т.е. через каждый транзистор протекает половина тока I_0 . Если сопротивления коллекторных нагрузок одинаковы $R_{К_1} = R_{К_2} = R_{К_3}$ и токи коллекторов равны и симметричное выходное напряжение постоянного тока равно нулю. В окрестности этой точки передаточные характеристики практически линейны, причем протяженность линейного участка не зависит от величины тока I_0 .

2. Крутизна передаточных характеристик зависит от величины питающего тока I_0 . Максимальная крутизна при любом значении I_0 соответствует напряжению $U_{ВХ_Д} = 0$. При токе I_0 , можно управлять усилением ДУ.

3. Приращения одноименных токов транзисторов дифференциального каскада равны по абсолютной величине и противоположны по знаку в любой точке передаточных характеристик. Переменные напряжения на коллекторных нагрузках дифференциального каскада противофазны. Крутизна ДУ при симметричном выходе в два раза больше, чем при несимметричном.

4. Выходные токи ДУ зависят от входного напряжения $U_{ВХД}$ триодизмы, определяемой величиной питающего тока I_0 , которым легко управлять. Отсюда следует, что ДУ может использоваться как множительное устройство и, следовательно, применяться для смешивания и умножения частоты, модуляции и детектирования
5. Собственные выходные сопротивления коллекторных цепей транзисторов $T1$ и $T2$ в зависимости от способа подключения источника входного сигнала соответствуют выходным сопротивлениям схем с ОЭ или ОБ, т. е. являются сравнительно большими, достигая сотен килоом на низких частотах. Поэтому транзисторы $T1$ и $T2$ могут использоваться в качестве генераторов тока. Токи этих генераторов, в свою очередь, определяются током I_0 и его распределением между транзисторами $T1$ и $T2$, зависящим от разностного входного напряжения.
6. Параметры передаточных характеристик зависят также от коэффициента передачи тока α транзисторов, температуры окружающей среды и не зависят от напряжения источника питания $Eп$