

Компьютерная электроника

Лекция. Усилители постоянного тока



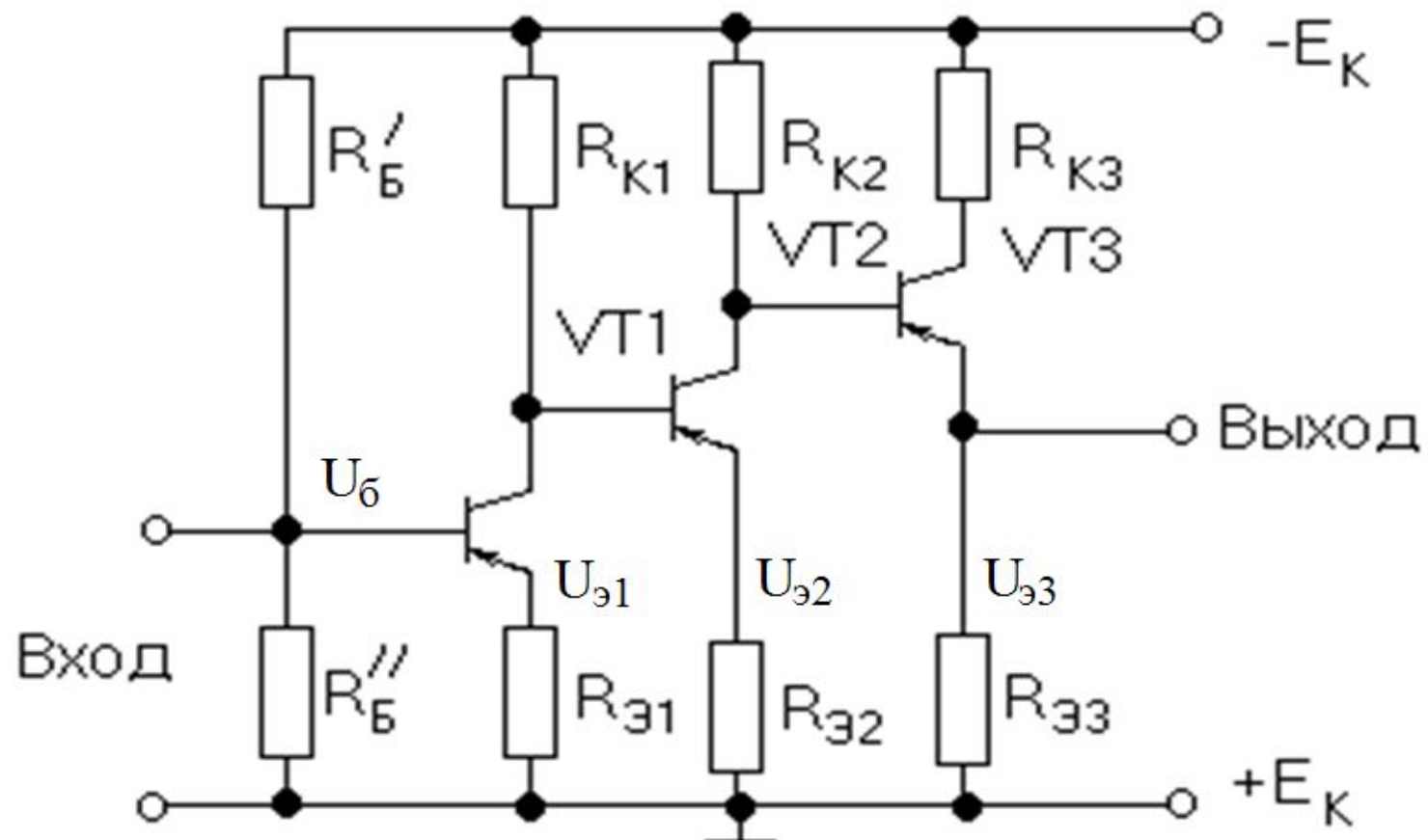
Определения

Для усиления медленно изменяющихся напряжений или токов необходимы усилители, полоса пропускания которых имеет нулевую нижнюю границу ($f_{\text{н}} = 0$).

Усилители, обладающие таким свойством, носят название усилителей постоянного тока (УПТ) независимо от того, какая из величин – ток или напряжение усиливается.

УПТ прямого усиления

Простейшим вариантом УПТ является схема с гальванической межкаскадной связи, в которой напряжение сигнала, усиленное предыдущим каскадом, непосредственно поступает на вход последующего.



УПТ прямого усиления

Определим соотношение между резисторами R_k и R_{ϑ} при условии одинакового положения рабочей точки на динамической характеристике.

$$U_{\vartheta 1} = U_{\delta} - U_{\delta \vartheta 1};$$

$$U_{\vartheta 2} = U_{\vartheta 1} + U_{k \vartheta 1} - U_{\delta \vartheta 2};$$

$$U_{\vartheta 3} = U_{\vartheta 2} + U_{k \vartheta 2} - U_{\delta \vartheta 3}.$$

Поскольку $U_{k \vartheta} > U_{\delta \vartheta}$, то из уравнений следует

$$U_{\vartheta 3} > U_{\vartheta 2} > U_{\vartheta 1};$$

$$R_{\vartheta 3} > R_{\vartheta 2} > R_{\vartheta 1};$$

$$R_{k3} < R_{k2} < R_{k1}.$$

Как известно, $K_U = R_k/R_{\vartheta}$. Поэтому, очевидно, что

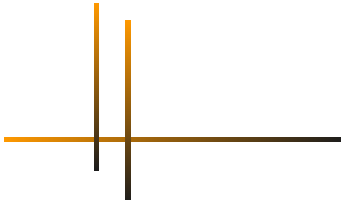
$$K_{U1} > K_{U2} > K_{U3}.$$

УПТ прямого усиления



Таким образом, коэффициент усиления каждого последующего каскада становится все более низким. Поэтому построение многокаскадного УПТ с высоким коэффициентом усиления представляет собой сложную задачу. Еще более сложная задача - обеспечение высокой стабильности работы усилителя при изменении напряжения питания, режимов работы транзистора, параметров компонентов, температуры.

Нижняя частота АЧХ УПТ равна нулю (из-за отсутствия разделительных конденсаторов). В области высоких частот АЧХ УПТ не отличается от характеристики усилителей с резистивно-емкостной связью.



УПТ прямого усиления

Основной специфический параметр УПТ - дрейф нуля, который представляет собой изменения выходного напряжения, не связанные с входным напряжением и обусловлен внутренними процессами в усилителе. Различают абсолютный дрейф нуля и дрейф, приведенный к входу усилителя. Последний описывается соотношением:

$$U_{\text{вх.д}} = U_{\text{вых.др}} / K_U.$$

Особую роль играет температурный дрейф.

При необходимости получения малого дрейфа нуля применяют другие типы усилителей, в основном:

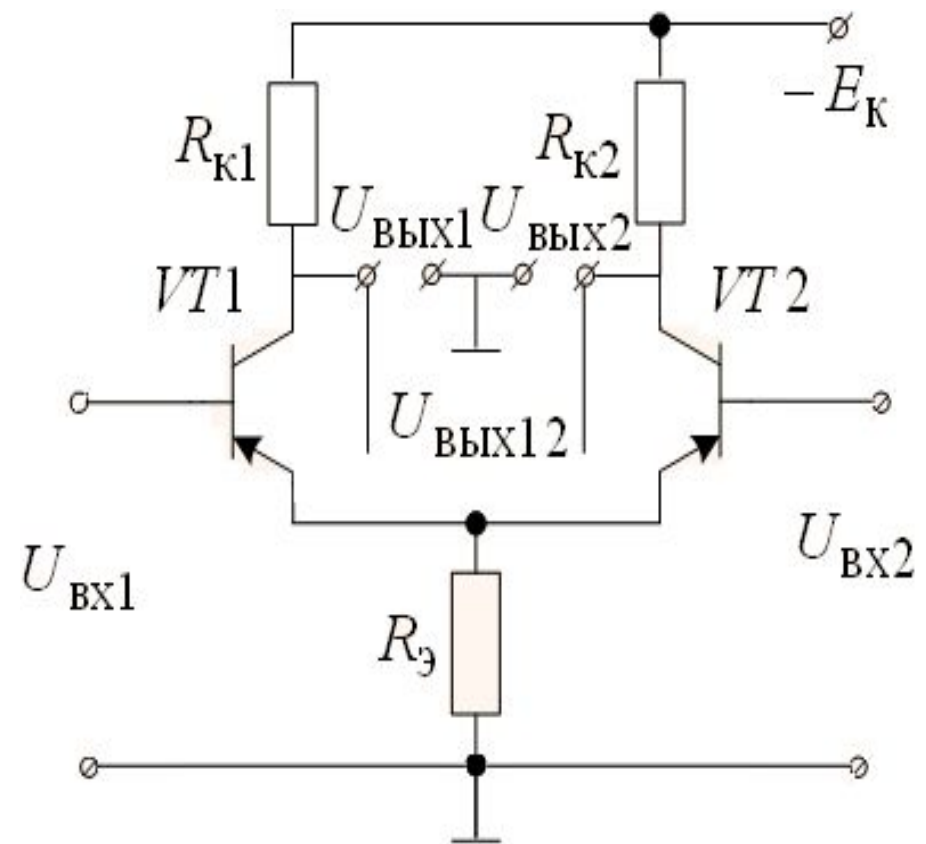
- дифференциальные (мостовые усилители);
- усилители с модуляцией и демодуляцией (усилители МДМ), в которых постоянное напряжение преобразуется в переменное, усиливается, а затем выпрямляется (демодулируется).

Дифференциальные усилители

Дифференциальный усилительный каскад имеет два входа и три выхода (два несимметричных и симметричный).

Для дифференциального усилителя различают два вида входных сигналов: дифференциальный и синфазный.

Для сигнала $U_{вх1}$ транзистор $VT1$ включен по схеме с ОЭ, а транзистор $VT2$ — по схеме с ОБ. Для сигнала $U_{вх2}$ транзистор $VT1$ включен по схеме с ОБ, а транзистор $VT2$ — по схеме с ОЭ. Для избегания громоздких промежуточных преобразований, воспользуемся искусственными приемами, позволяющими получить интересующие результаты.



Дифференциальные усилители

Предположим, что каскад абсолютно симметричен, т. е. сопротивления резисторов, входящих в каждое плечо, и параметры транзисторов VT1 и VT2 одинаковы. В этом случае при равных входных сигналах $U_{вх1}$ и $U_{вх2}$ токи транзисторов VT1 и VT2 равны между собой, а именно:

$$I_{к1} = I_{к2}; I_{э1} = I_{э2}; I_{б1} = I_{б2}.$$

Пусть входные напряжения получат одинаковые приращения разных полярностей $0,5 \cdot U_{вх}$:

$$U_{вх1} = U_{вх0} + \Delta U_{вх} / 2;$$

$$U_{вх2} = U_{вх0} - \Delta U_{вх} / 2.$$

В результате ток одного транзистора увеличится на $\Delta I_{к}$, а другого на столько же уменьшится:

$$I_{к1} = I_{к0} + \Delta I_{к};$$

$$I_{к2} = I_{к0} - \Delta I_{к}.$$

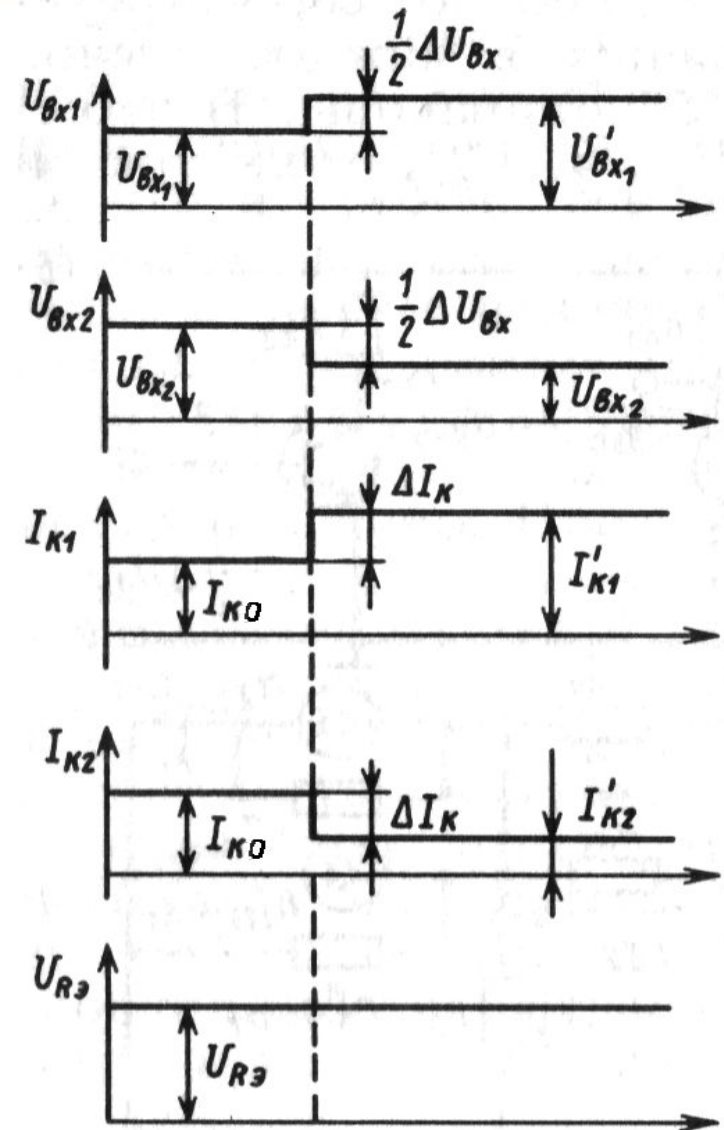
Дифференциальные усилители

При этом результирующий ток через эмиттерный резистор останется без изменения. Постоянным будет и падение напряжения на нем.

Аналогично ведет себя каскад, если входное напряжение подать на один вход, а второй соединить с общей шиной.

Вне зависимости от способа подачи входного напряжения, напряжения база-эмиттер обоих транзисторов, вызывающих выходные токи, равны между собой и равны половине разности входных напряжений

$$\Delta U_{\text{вх}} = U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}}$$



Дифференциальные усилители

Рассмотрим эквивалентную схему для дифференциального сигнала. В этом случае потенциал эмиттеров остается постоянным, поэтому для переменной составляющей от эквипотенциален общей шине усилителя.

Рассмотрим основные параметры .

1 Коэффициент усиления напряжения

а) по несимметричным выходам:

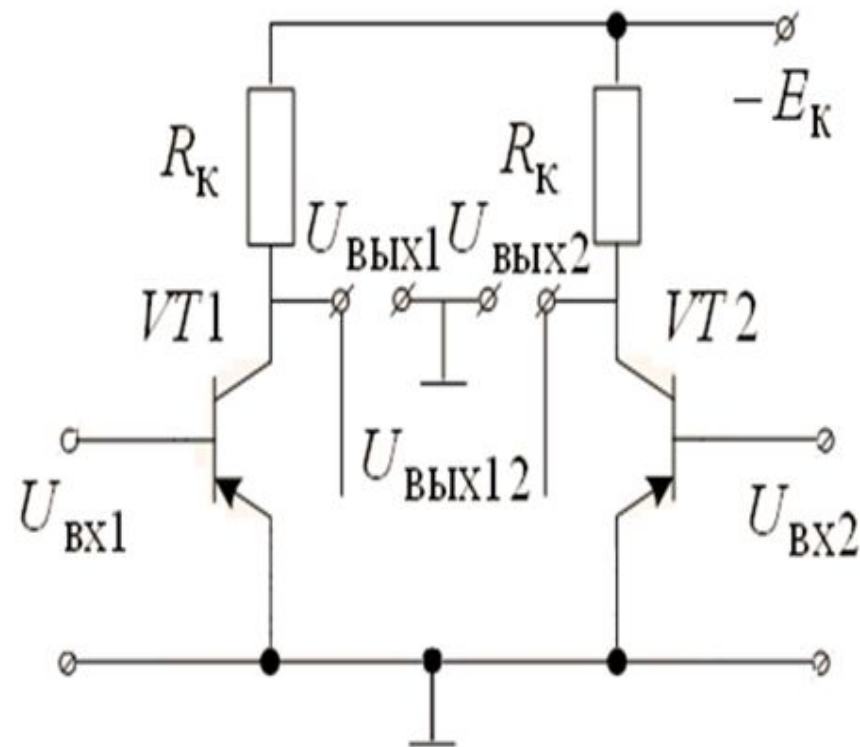
$$K_{U1xx} = -\beta * R_K / (R_{\Gamma} + R_{BX});$$

$$K_{U2xx} = -\beta * R_K / (R_{\Gamma} + R_{BX}).$$

б) по симметричным выходу:

$$K_{U12xx} = (U_{\text{ВЫХ1}} - U_{\text{ВЫХ2}}) / (U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}})$$

$$= -\beta * R_K / (R_{\Gamma} + R_{BX}).$$



Дифференциальные усилители

2 Входное сопротивление.

$$R_{ВХ} = 2 * [r_{Б} + (1 + \beta) * r_{Э}],$$

для его увеличения в цепь эмиттера включают резистор.

3 Выходное сопротивление:

$$R_{ВЫХ} = 2 * R_{К}.$$

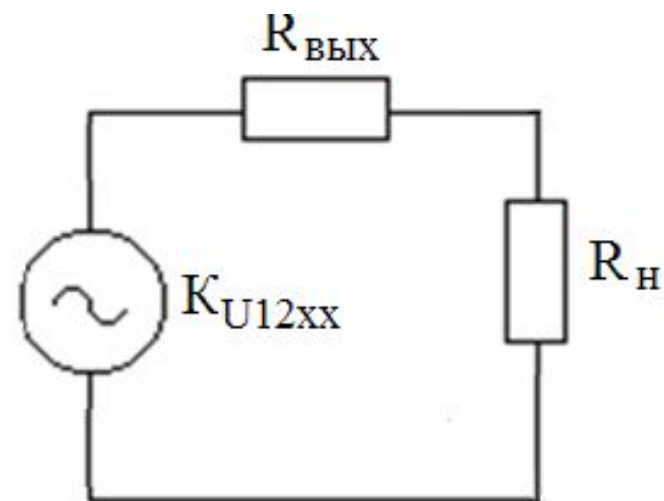
Оценим влияние сопротивления нагрузки на значение коэффициента усиления, для чего составим упрощенную эквивалентную схему.

Для этой схемы:

$$K_{U12} = K_{U12xx} * K_{П};$$

$$R_{ВЫХ} = 2 * R_{К}.$$

$$K_{П} = R_{Н} * / (2 * R_{К} + R_{Н}) .$$



Дифференциальные усилители

Проведем преобразования, в результате получим:

$$\begin{aligned} K_{U12} &= [-\beta * R_K / (R_{\Gamma} + R_{BX})] * [R_H * / (2 * R_K + R_H)] = \\ &= (1/2) * [-\beta * (2 * R_K) \parallel R_H] / (R_{\Gamma} + R_{BX}). \end{aligned}$$

Дифференциальные усилители

При подаче на вход дифференциального каскада синфазного напряжения $U_{\text{вых1}}$ и $U_{\text{вых2}}$ изменяются, но в полностью сбалансированном каскаде их разность остается постоянной.

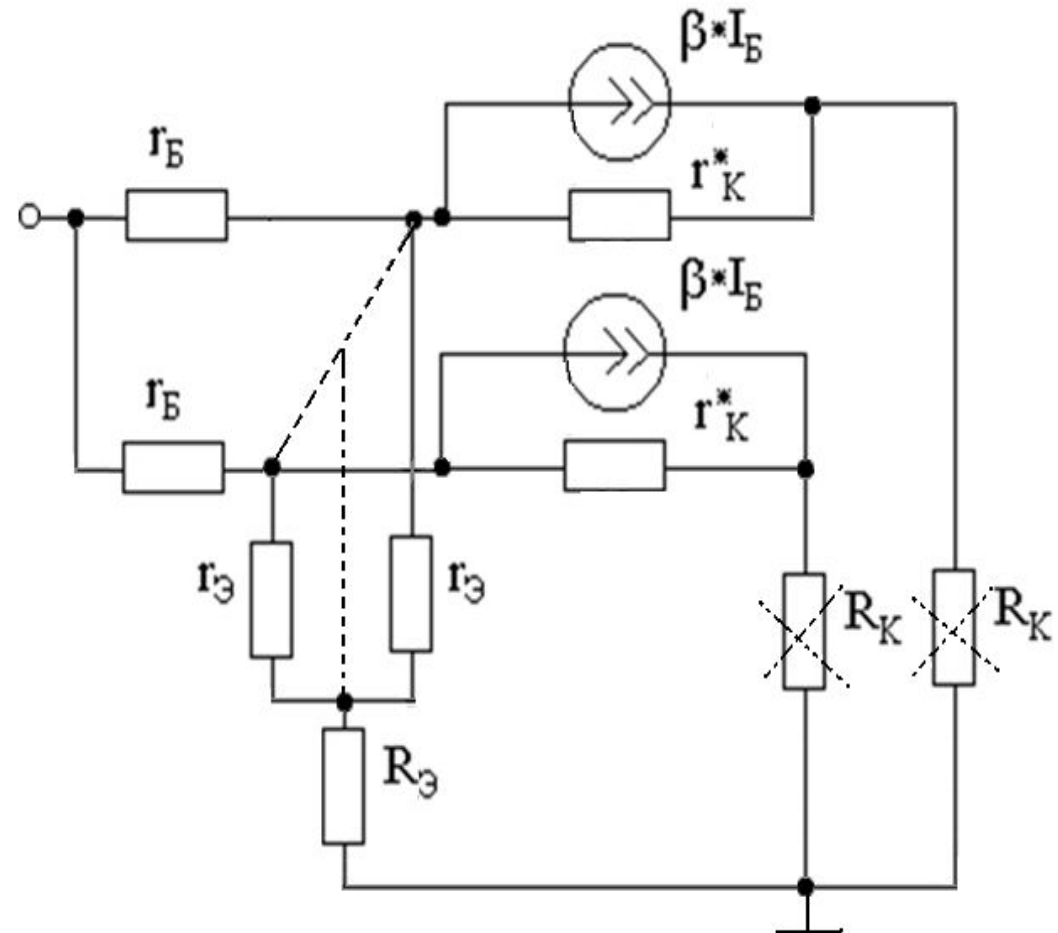
Определим параметры каскада при подаче синфазного сигнала по эквивалентной схеме.

Учтем, что

$$r_{\text{Э}} \ll R_{\text{Э}}; \quad r_{\text{К}}^* \gg R_{\text{К}},$$

тогда

$$R_{\text{ВХ}}^{\text{син}} = r_{\text{Б}} + 2 \cdot (1 + \beta) \cdot [R_{\text{Э}} \parallel r_{\text{К}}^* / 2].$$



Дифференциальные усилители

Коэффициент усиления напряжения

$$K_U^{\text{син}} = -\beta * R_K / (R_T + R_{\text{ВХ}}^{\text{син}}).$$

Поскольку $R_{\text{ВХ}}^{\text{син}} \gg R_{\text{ВХ}}$, то

$$K_U^{\text{син}} \ll K_U.$$

Таким образом, дифференциальный каскад усиливает дифференциальный сигнал и ослабляет синфазный. Для количественной оценки усиления дифференциального и ослабления синфазного сигнала применяют коэффициент ослабления синфазного сигнала:

$$K_{\text{ос.син}}^{\text{нес}} = K_U / K_U^{\text{син}},$$

он может достигать сотен и единиц тысяч.

Для симметричного выхода

$$K_{\text{ос.син}}^{\text{с}} \gg K_{\text{ос.син}}^{\text{нес}},$$

поскольку синфазный сигнал увеличивает как $U_{\text{ВЫХ1}}$ так и $U_{\text{ВЫХ2}}$, а из разность остается неизменной.



Дифференциальные усилители



Особенности:

- усиливает дифференциальный сигнал;
- ослабляет синфазный сигнал;
- температурные, временные и режимные дрейфы значительно меньше, чем у УПТ прямого усиления.

