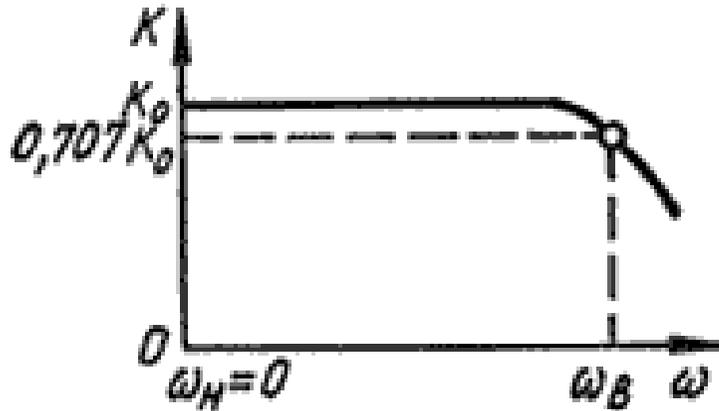


## Усилители постоянного тока (УПТ)

**Назначение:** усиление медленно меняющихся во времени сигналов, включая постоянную составляющую.



Частотная характеристика усилителя  
постоянного тока

В УПТ нельзя использовать в качестве элементов связи элементы, сопротивление которых есть функция частоты (конденсаторы, дроссели, трансформаторы и т.п.)

Связь между каскадами, источником сигнала и усилителем, нагрузкой и выходом осуществляется:

- непосредственно;
- с помощью идеальных источников напряжения;
- усилитель строится по другому принципу.

## Усилители постоянного тока (УПТ)

**Дрейф нуля** – самопроизвольное изменение выходного напряжения УПТ при неизменном напряжении входного сигнала.

### Основные причины дрейфа нуля:

- нестабильность питающих схему напряжений;
- температурная и временная нестабильности параметров (особенно) транзисторов и резисторов.

**Негативное влияние дрейфа нуля** – сигнал дрейфа нуля может быть соизмерим с полезным выходным сигналом. В этом случае полезным сигнал будет плохо различим.

### Методы борьбы с дрейфом нуля

- стабилизация источников питания УПТ;
- использование ООС;
- термокомпенсация;
- применение УПТ с промежуточным преобразованием; и др.

# Усилители постоянного тока (УПТ)

**Качество УПТ** оценивают по напряжению дрейфа, приведенному ко входу усилителя (*приведенный дрейф*)

$$e_{\text{др}} = \frac{\Delta U_{\text{вых др}}}{K_U},$$

где  $K_U$  – коэффициент усиления усилителя;

$\Delta U_{\text{вых др}}$  – абсолютный дрейф – напряжение, которое имеется на выходе УПТ при  $U_{\text{вх}} = 0$ .

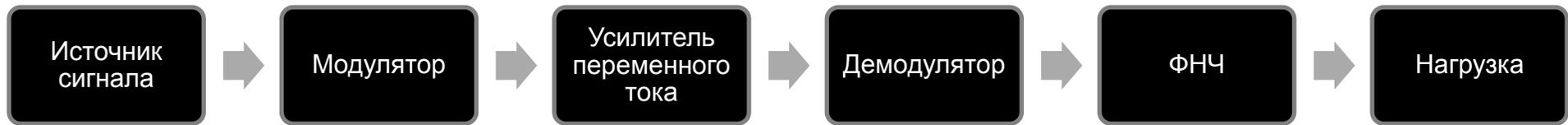
**Приведенный ко входу дрейф** характеризует значение ложного сигнала на входе усилителя с коэффициентом усиления  $K_U$ , которому соответствует самопроизвольное изменение выходного напряжения  $\Delta U_{\text{вых др}}$ .

# Классификация УПТ



# УПТ с промежуточным преобразованием

## Структурная схема



**Модулятор** предназначен для получения из входного (медленно меняющегося или постоянного) сигнала переменного напряжения с амплитудой прямо пропорциональной входному.

**Усилитель переменного тока** (классический) служит для усиления переменного напряжения, поступающего с модулятора.

**Демодулятор** выполняет функцию обратную модулятору.

**ФНЧ** не пропускает в нагрузку гармоники несущей частоты. В простейшем виде – просто фильтровой конденсатор.

**Модулятор** и **Демодулятор** представляют собой совокупность ключевых элементов (транзисторов), переключающихся синхронно с (несущей) частотой в несколько кГц.

**Достоинства:** практически нет дрейфа нуля  $e_{др} \cong 10^{-9}$  В/час; возможно усиление малых сигналов.

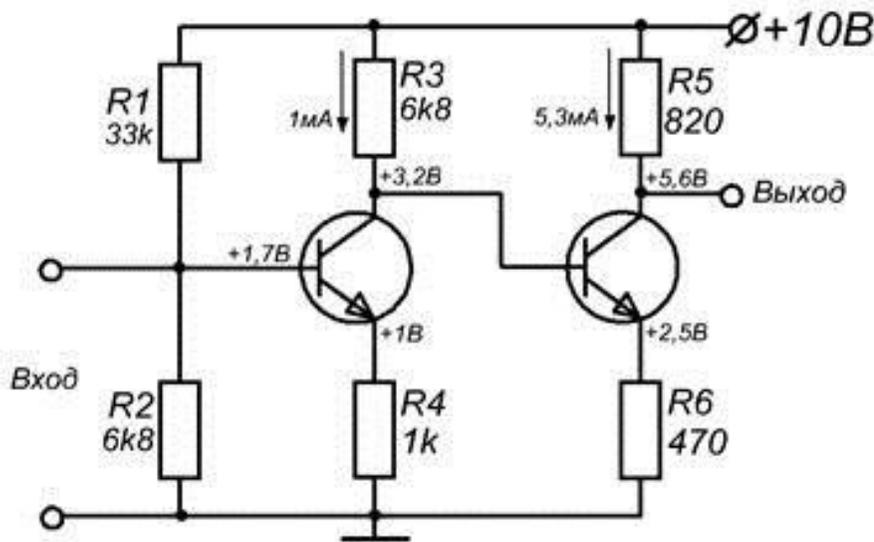
**Недостатки:** сложность; низкая надежность; многократное преобразование энергии; возникновение паразитных напряжений с частотой преобразования.

**Другие названия:** УПТ с модуляцией и демодуляцией или Усилитель типа МДМ.  
учебное пособие «Электроника», В.И. Лачин, Н.С. Савелов

# Однотактные УПТ прямого усиления

- с непосредственными связями
- с потенциометрической связью

## Схема УПТ с непосредственными связями



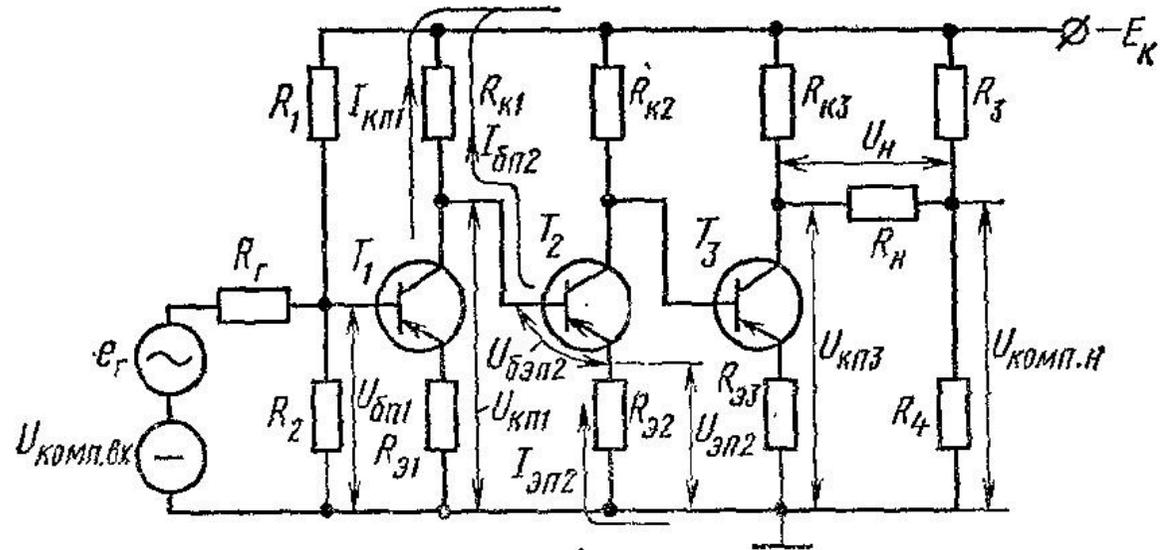
В схеме непосредственная связь между каскадами

Важная задача при построении УПТ – согласование уровней коллекторного напряжения предыдущего каскада и базового напряжения последующего.

В эмиттерные цепи транзисторов поставлены специальные резисторы, на которых «гасится» разница между  $U_{0КЭ}$  предыдущего транзистора и  $U_{0БЭ}$  последующего:

$$U_{0R4} + U_{0КЭ1} = U_{0БЭ2} + U_{0R6}$$

Наличие резисторов в эмиттерных цепях вызывает появление ООС по току, что существенно снижает  $K_U$  каскада,  $\Rightarrow$  результирующий  $K_U$  всего устройства, но при этом стабильность параметров выше.

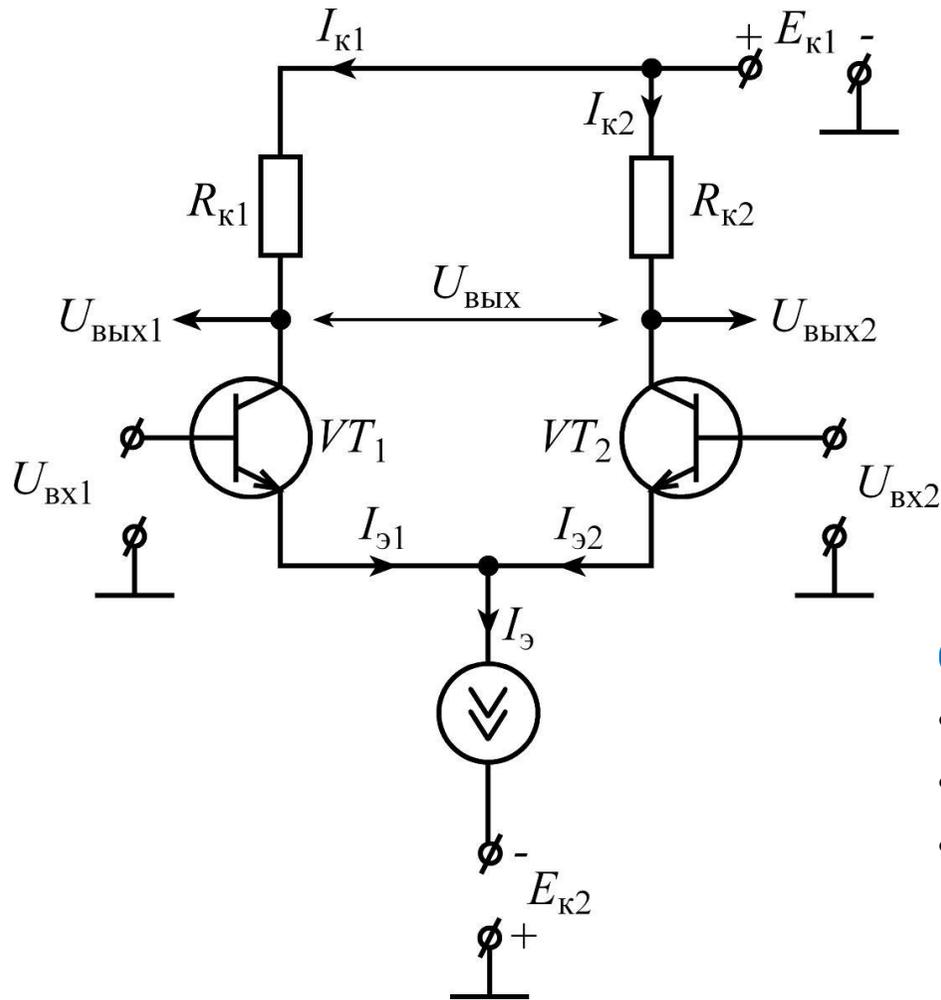


Помимо УПТ с непосредственной связью известны УПТ с потенциометрической связью, в которых согласование уровней напряжений между каскадами осуществляется с помощью двухполярного источника питания и специальных резистивных делителей (потенциометров).

### Недостатки одноканальных УПТ:

- относительно невысокий коэффициент усиления;
- достаточно большой дрейф нуля.

# Дифференциальный каскад (ДК) (двухтактные УПТ)



Типовая схема ДК широко применяется в интегральной микросхемотехнике.

Схема представляет сбалансированный мост из 2-х транзисторов и 2-х резисторов  $R_k$ . Параметры плечей моста идентичны:

$$VT_1 \equiv VT_2 - \text{идентичны};$$

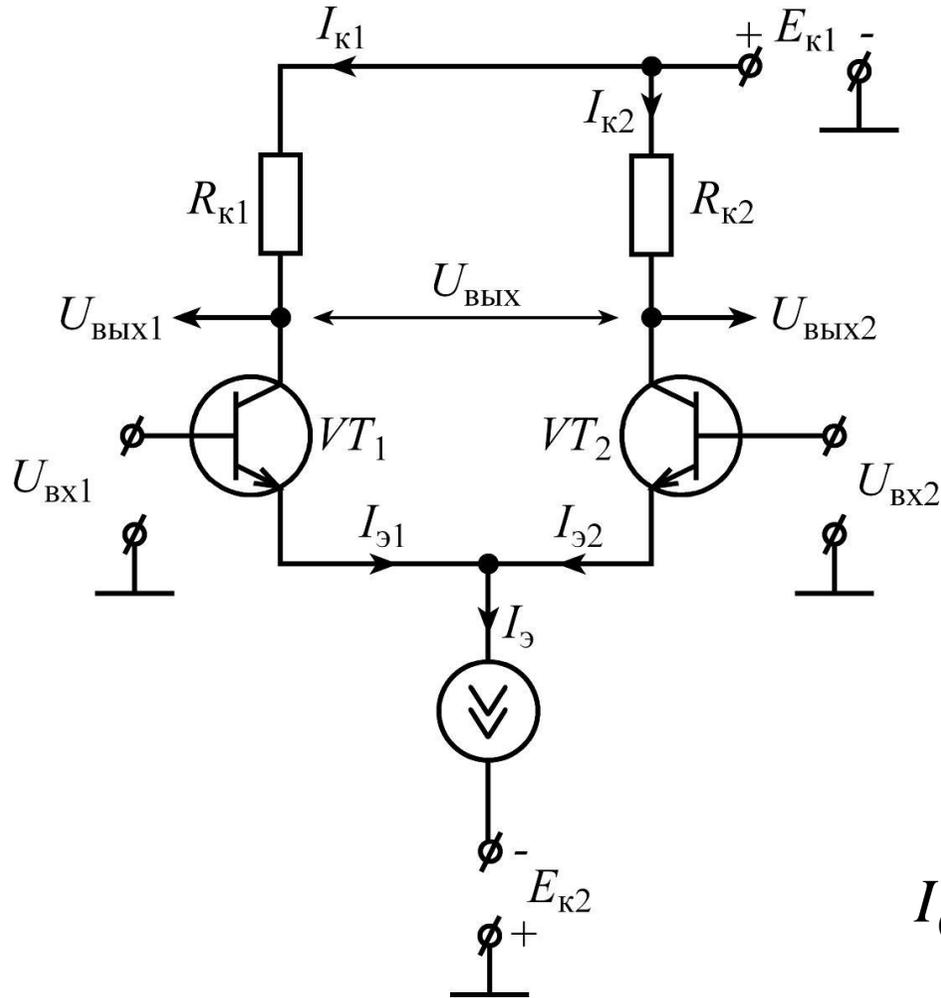
$$R_{к1} = R_{к2} = R_k.$$

## Описание схемы:

- 2 входа;
- 2 выхода;
- двухполярное питание.

# Дифференциальный каскад (ДК)

## Принцип действия ДК



### 1. Режим покоя (исходный режим)

$$U_{\text{ВХ1}} = U_{\text{ВХ2}} = 0$$

$$I_{\text{Э1}} = I_{\text{Э2}} = \frac{I_{\text{Э}}}{2}$$

По базовым цепям протекают одинаковые токи покоя (токи смещения).

Транзисторы работают в активном режиме:

$$I_{\text{К}j} = \beta_j \cdot I_{\text{Б}j} \quad j = 1; 2.$$

$$I_{\text{Э}j} = I_{\text{Б}j} + I_{\text{К}j} = (1 + \beta_j) I_{\text{Б}j}$$

$$I_{\text{Об1}} = I_{\text{Об2}} = I_{\text{ВХ см}} = \frac{I_{\text{Э}}}{2(1 + \beta)}$$

# Дифференциальный каскад (ДК)

## Принцип действия ДК

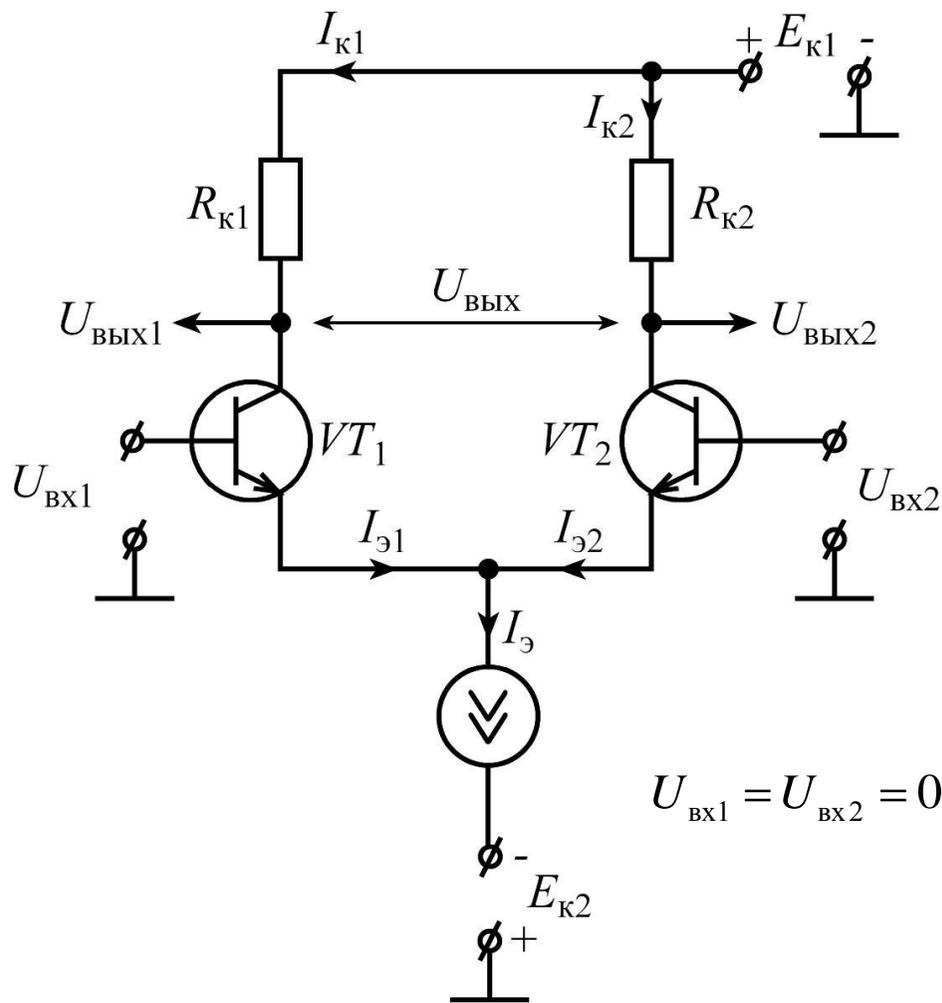
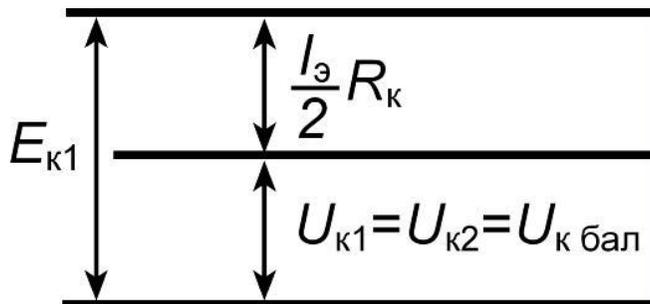
Коллекторные токи транзисторов составят:

$$I_{к1} = I_{к2} = \alpha \frac{I_{э}}{2} \approx \frac{I_{э}}{2}; \quad \alpha = I_{к}/I_{э} \approx 1;$$

$$U_{к1} = U_{к2} = U_{к\text{бал}} = E_{к1} - \frac{I_{э} \cdot R_{к}}{2}.$$

Данный режим также называется **режимом баланса каскада**.

Потенциальная диаграмма каскада



$$U_{ВХ1} = U_{ВХ2} = 0$$

# Дифференциальный каскад (ДК)

## Принцип действия ДК

### 2. Динамический режим

$$U_{\text{ВХ1}} > 0; U_{\text{ВХ2}} = 0.$$

Приложенное напряжение  $U_{\text{ВХ1}}$  имеет полярность прямую для  $VT_1$  и обратную для  $VT_2$ .

Входной ток замыкается:

$$(+E_{\Gamma} \rightarrow R_{\Gamma} \rightarrow \text{БЭ}_1 \rightarrow \text{ЭБ}_2 \rightarrow (-)E_{\Gamma}$$

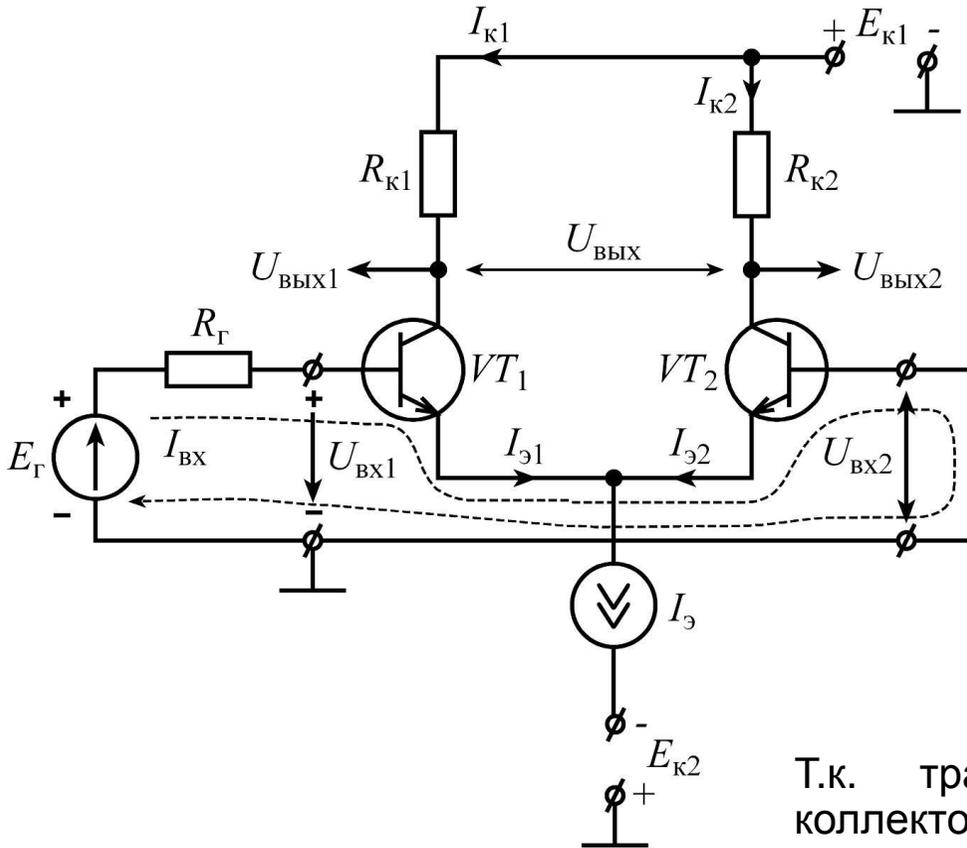
$I_{\text{ВХ}}$  совпадает по направлению с током смещения  $VT_1$  и противоположен току смещения  $VT_2$ .

$$I_{\text{б1}} = I_{\text{об1}} + I_{\text{ВХ}}; \quad I_{\text{б2}} = I_{\text{об2}} - I_{\text{ВХ}}$$

Т.к. транзисторы работают в активном режиме, коллекторный ток повторяет базовый  $\Rightarrow$

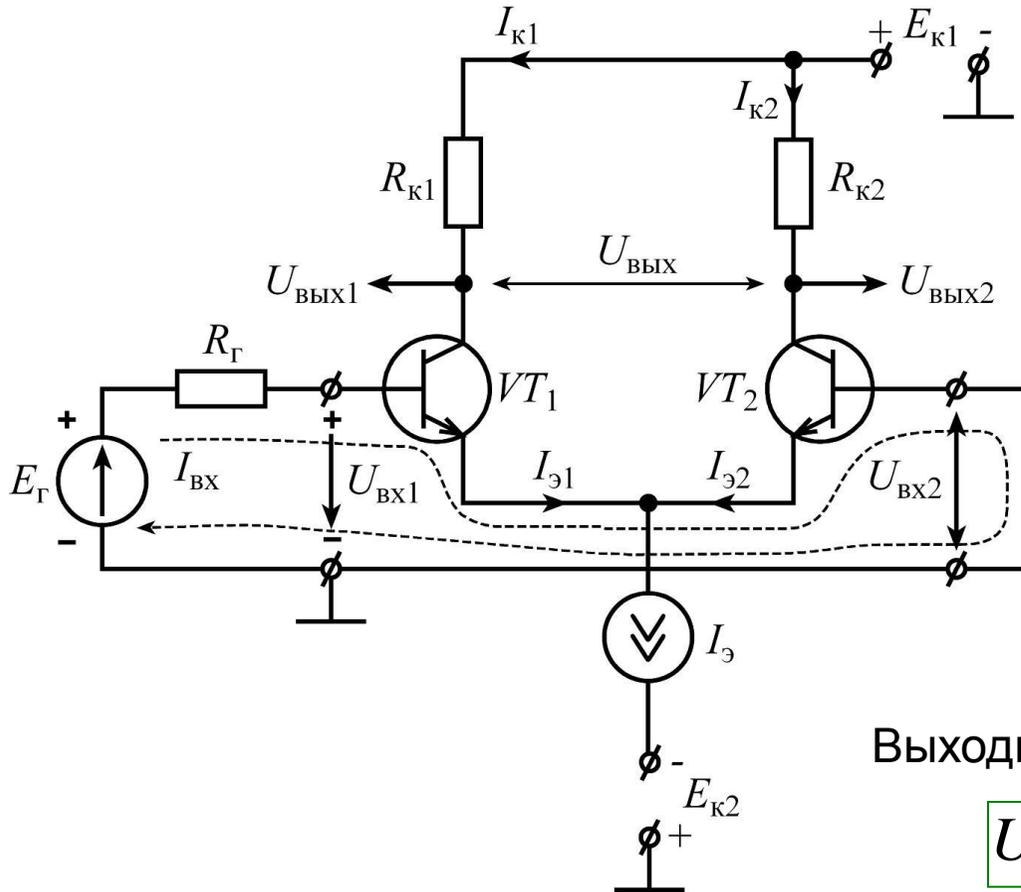
$$I_{\text{К1}} \uparrow; \text{ а } I_{\text{К2}} \downarrow, \text{ причем } I_{\text{К1}} + I_{\text{К2}} = \text{const.}$$

$$\downarrow U_{\text{К1}} = U_{\text{ВЫХ1}} = E_{\text{К1}} - \uparrow I_{\text{К1}} R_{\text{К}}; \quad \uparrow U_{\text{К2}} = U_{\text{ВЫХ2}} = E_{\text{К1}} - \downarrow I_{\text{К2}} R_{\text{К}}.$$



# Дифференциальный каскад (ДК)

## Принцип действия ДК



$$\downarrow U_{K1} = U_{\text{ВЫХ}1} = E_{K1} - \uparrow I_{K1} R_K;$$

$$\uparrow U_{K2} = U_{\text{ВЫХ}2} = E_{K1} - \downarrow I_{K2} R_K.$$

$U_{K1}$  противофазно  $U_{\text{ВХ}1}$

$U_{K2}$  синфазно  $U_{\text{ВХ}1}$ .

Т.о. при данном способе подачи входного сигнала:

- первый выход – инвертирующий,
- второй – неинвертирующий.

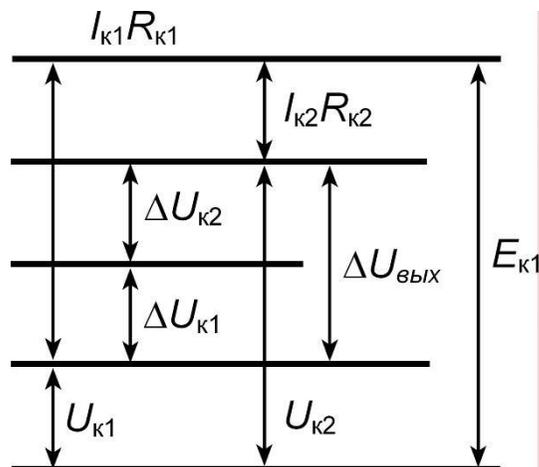
Выходное дифференциальное напряжение

$$U_{\text{ВЫХ}} = \Delta U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}2} - U_{\text{ВЫХ}1}.$$

# Дифференциальный каскад (ДК)

## Принцип действия ДК

Потенциальная диаграмма каскада



Рассмотренный процесс будет продолжаться до тех пор, пока входной ток не сравняется по модулю с током смещения (током покоя базы).

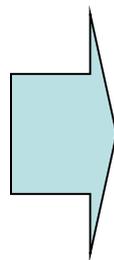
В этом случае:

$I_{б2} = 0$  ( $VT_2$  запирается)  $\Rightarrow I_{к2} = 0$  и  $I_{э2} = 0$ , тогда

$$I_{э1} = I_{э}, I_{к1} = \alpha I_{э1} \approx I_{э} = I_{э1}.$$

$U_{Rк1}$  – максимально, а  $U_{Rк2} = 0$ .

$$U_{к1min} = E_{к1} - I_{э}R_{к1} \approx 0; \quad U_{к2max} = E_{к1},$$



т.о. дифференциальный сигнал между коллекторами достигает максимума и составляет:

$$\Delta U_{\text{вых}} = U_{\text{вых2}} - U_{\text{вых1}} = U_{к2max} - U_{к1min} = E_{к1} - E_{к1} + I_{э}R_{к1} = I_{э}R_{к1}.$$

# Дифференциальный каскад

## Принцип действия ДК

При изменении полярности подводимого напряжения или подключения входного сигнала к входу 2 ( $U_{вх1} = 0$  - заземлен) процессы в схеме протекают аналогично, но с противоположными знаками приращений.

Реальные значения  $K_U$  современных ДК могут достигать нескольких сотен, если в качестве основных транзисторов ДК применяются полевые транзисторы (из-за большого входного сопротивления).

В реальном случае всегда наблюдается незначительный разброс параметров транзисторов, вследствие которого всегда существует дрейф выходного дифф. напряжения, но величина дрейфа на несколько порядков меньше, чем в УПТ прямого усиления.

**Дифференциальный каскад с несимметричным выходом (с динамическими нагрузками). Самостоятельно разобрать и законспектировать по книге «Промышленная электроника», Забродин Ю.С. (рекоменд. по теме)**

**Содержание: схема, описание, принцип действия,  $K_U$  каскада.**