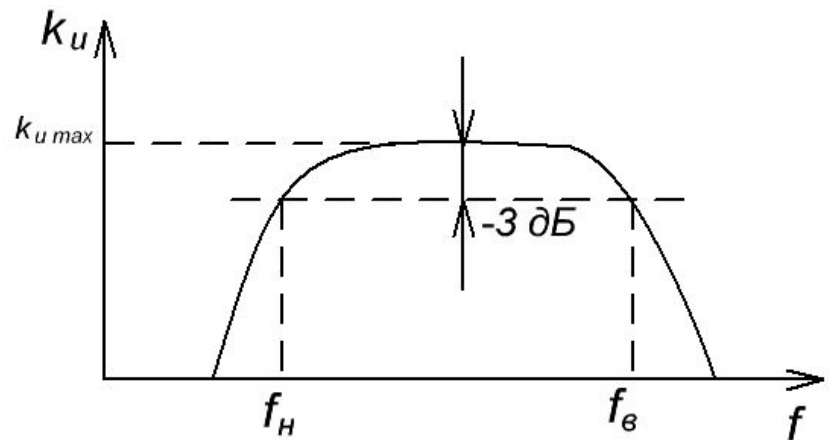
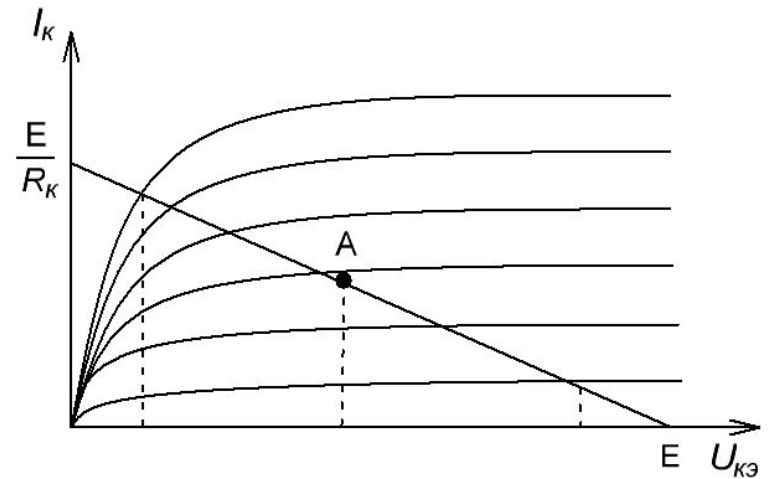
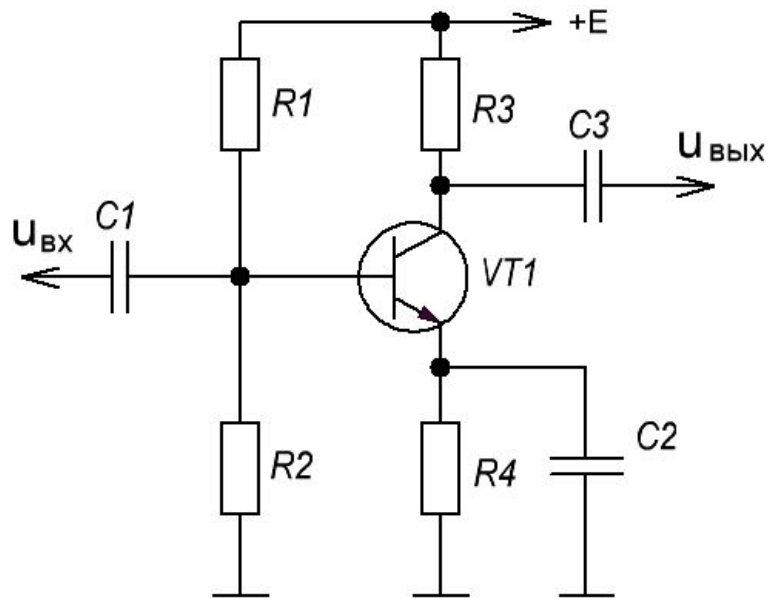


# Аналоговые и цифровые электронные цепи

Ильин Михаил Владимирович

# Усилители постоянного тока

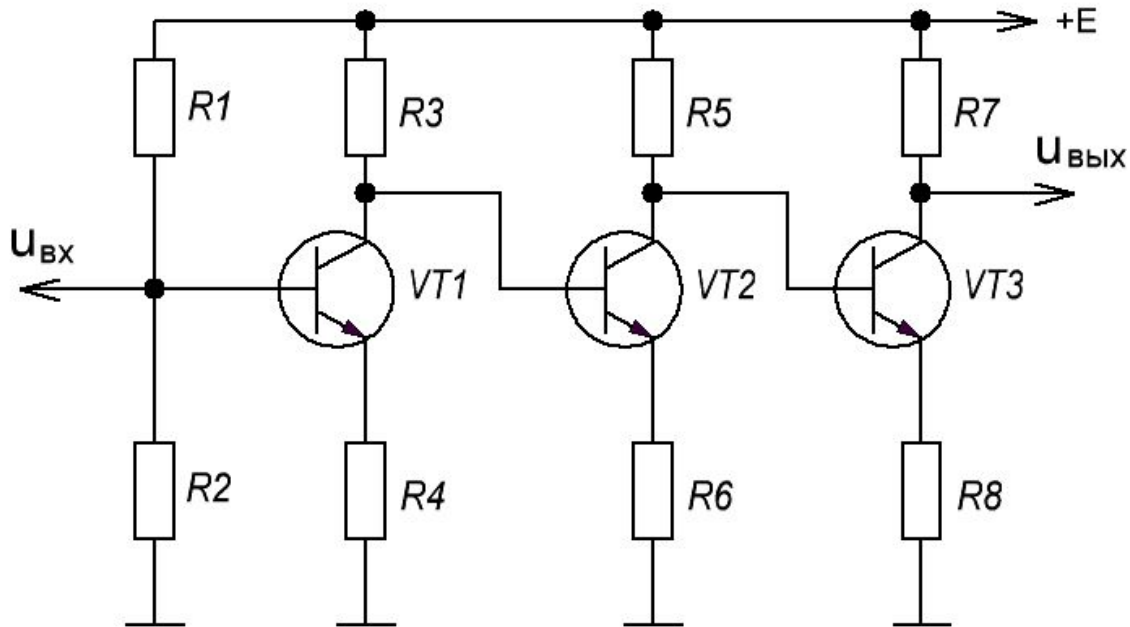
# Усилитель переменного напряжения



**Недостаток:**

**Невозможно усилить постоянное напряжение**

# Усилитель постоянного тока с непосредственной связью

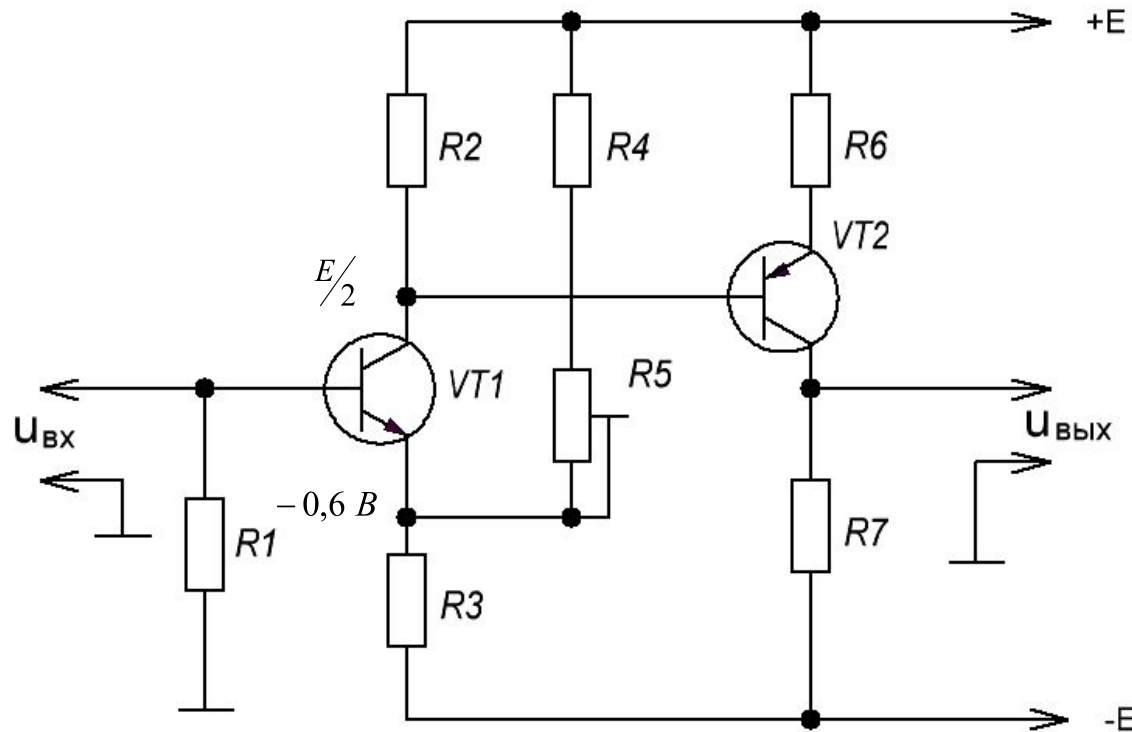


$$k_u \approx \frac{R_K}{R_Э}$$

## Недостатки:

1. Ограниченность коэффициента усиления
2. При  $U_{вх} = 0$ ,  $U_{вых} \neq 0$
3. Температурный дрейф

# УПТ на комплементарных транзисторах



$$u_{вх} = 0 \Rightarrow u_{вых} = 0$$

$$U_{R7} = -E \quad R7 = \frac{|-E|}{I_{к VT2}}$$

$$U_{к VT1} = U_{б VT2} = \frac{E}{2}$$

$$U_{э VT2} = U_{б VT2} + 0,6$$

$$R6 = \frac{U_{R6}}{I_{к VT2}} = \frac{(+E) - U_{э VT2}}{I_{к VT2}}$$

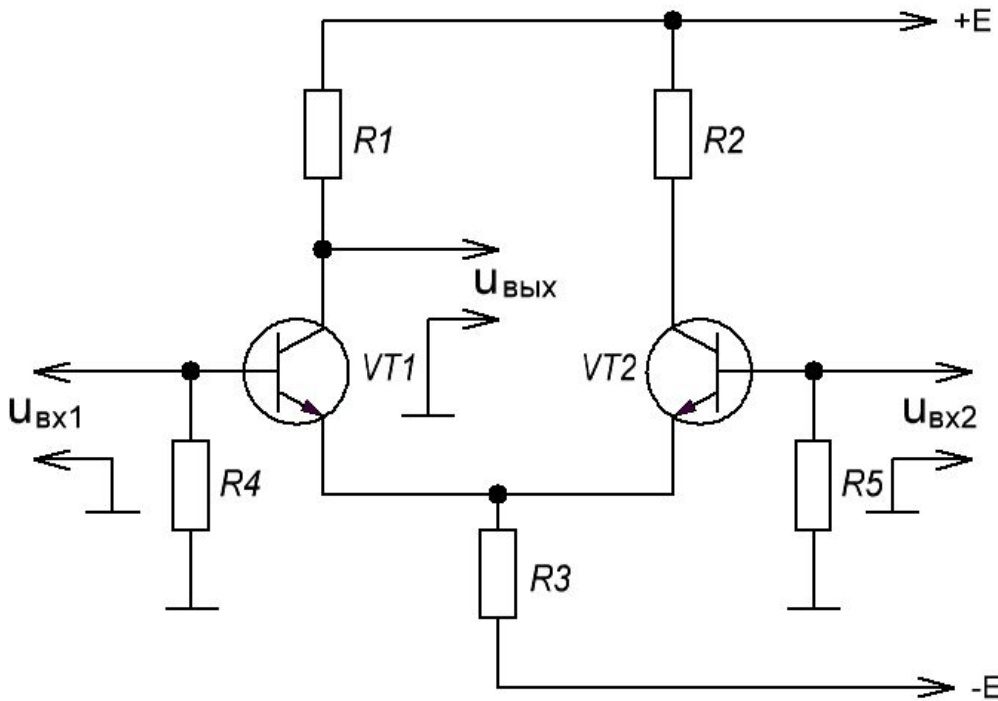
$$I_{к} \approx I_{э} \quad U_{э VT1} \approx -0,6 В$$

$$k_u = \frac{R2}{R3 \parallel (R4 + R5)} \cdot \frac{R6}{R7}$$

**Недостаток:**  
1. Температурный дрейф

# Дифференциальный усилитель

Рабочая точка



$$I_K VT1 = I_K VT2$$

$$I_{R3} = 2I_{\vartheta}$$

$$U_{R3} = -E$$

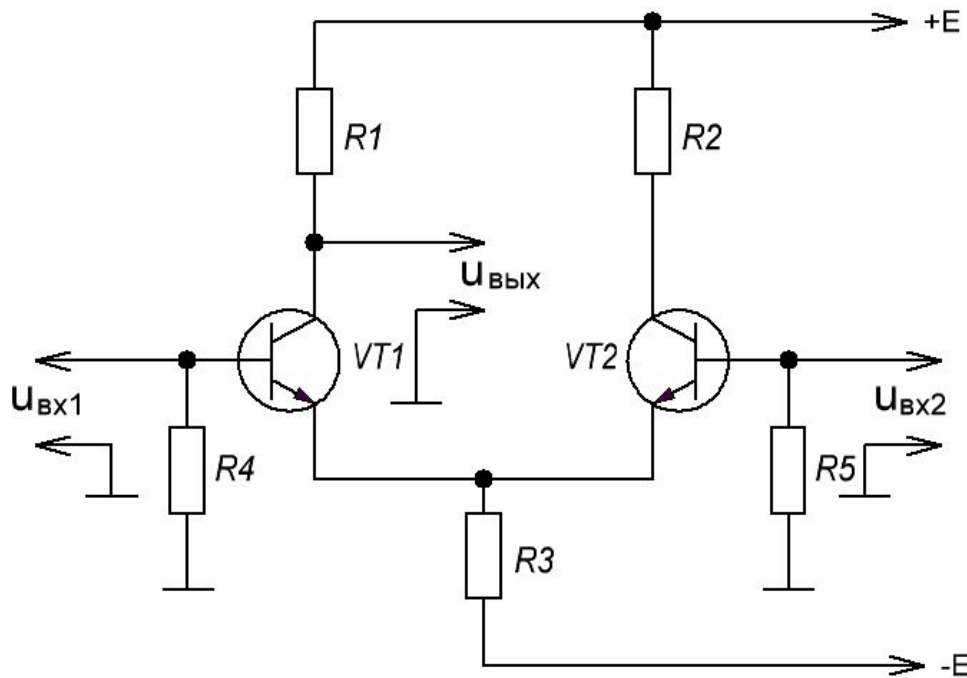
$$I_K \approx I_{\vartheta} \Rightarrow I_K = \frac{E}{2R3}$$

$$U_K = E - \frac{E}{2R3} \cdot R1$$

$$R1 = R2 = R3 \Rightarrow U_K = \frac{E}{2}$$

# Дифференциальный усилитель

Коэффициент усиления синфазного напряжения



$$u_c = \frac{u_{вх1} + u_{вх2}}{2}$$

$$u_{вх1} = u_{вх2} = u_{вх} = u_c$$

$$i_{R3} = \frac{u_{вх}}{R3}$$

$$u_{вых} = -i_k \cdot R1$$

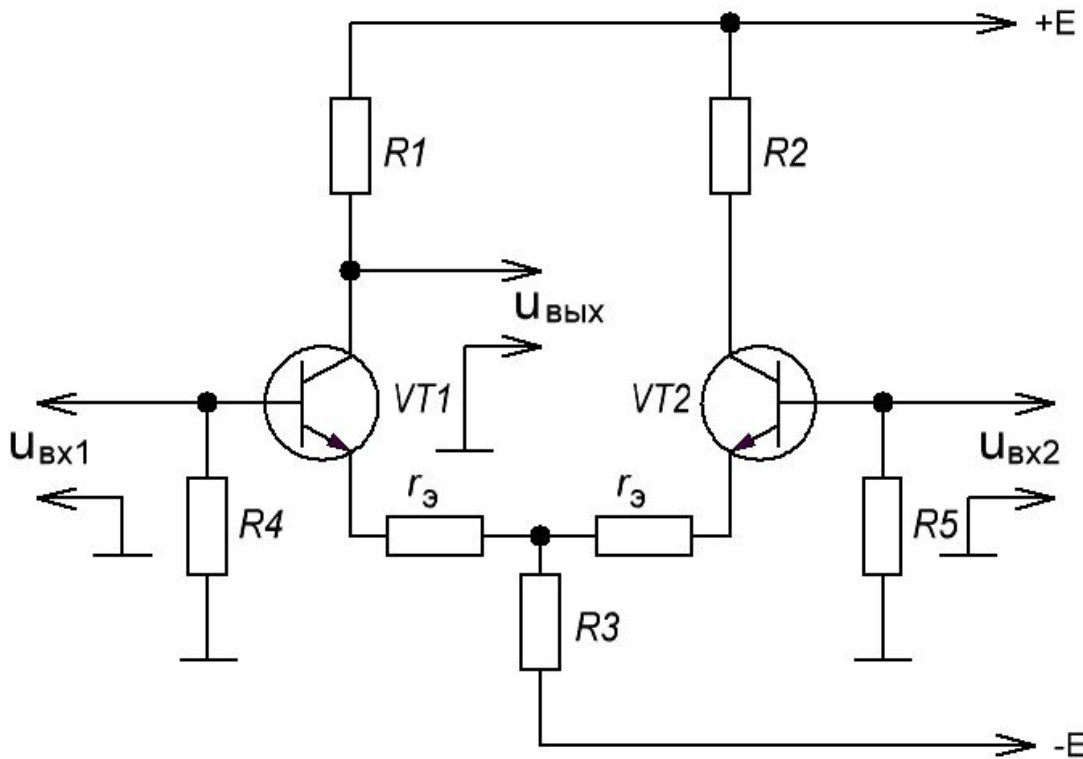
$$i_k \approx i_э \Rightarrow u_{вых} = -\frac{u_{вх}}{2R3} \cdot R1$$

$$k_{uc} = \frac{u_{вых}}{u_{вх}} = -\frac{R1}{2R3}$$

$$R1 = R2 = R3 \Rightarrow k_{uc} = -\frac{1}{2}$$

# Дифференциальный усилитель

Коэффициент усиления дифференциального напряжения



$$u_{\partial} = u_{\text{вх1}} - u_{\text{вх2}}$$

$$r_{\text{э}} \approx \frac{26 \text{ мВ}}{I_{\text{э}} (\text{мА})}$$

$$i_{\text{э1}} = -i_{\text{э2}} \approx \frac{u_{\text{вх1}} - u_{\text{вх2}}}{2r_{\text{э}}}$$

$$u_{\text{вых}} = -i_{\text{к}} \cdot R1$$

$$i_{\text{к}} \approx i_{\text{э}} \Rightarrow i_{\text{к1}} = -i_{\text{к2}} \approx \frac{u_{\text{вх1}} - u_{\text{вх2}}}{2r_{\text{э}}}$$

$$u_{\text{вых}} \approx \frac{-R1(u_{\text{вх1}} - u_{\text{вх2}})}{2r_{\text{э}}}$$

$$k_{u\partial} = \frac{u_{\text{вых}}}{u_{\text{вх1}} - u_{\text{вх2}}} = -\frac{R1}{2r_{\text{э}}}$$

$$R1 \gg r_{\text{э}} \Rightarrow k_{u\partial} \gg 1$$

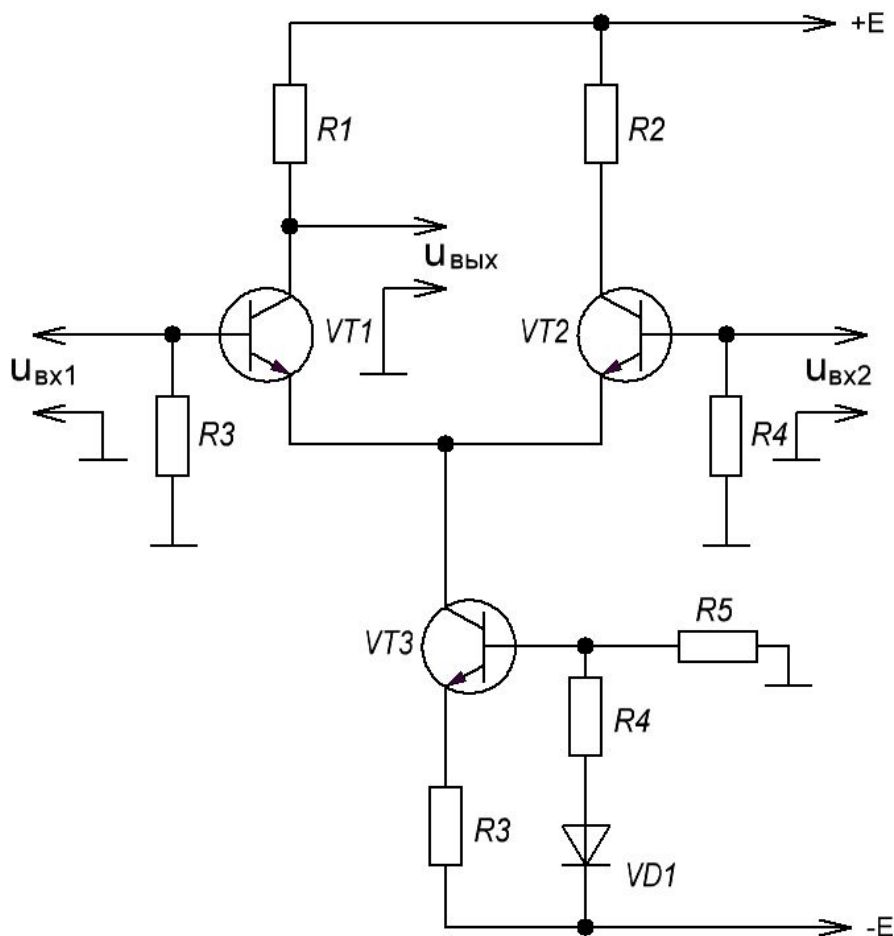


# Дифференциальный усилитель

Коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС)

$$КОСС = 20 \lg \left( \frac{k_{ид}}{k_{ис}} \right) \text{ дБ}$$

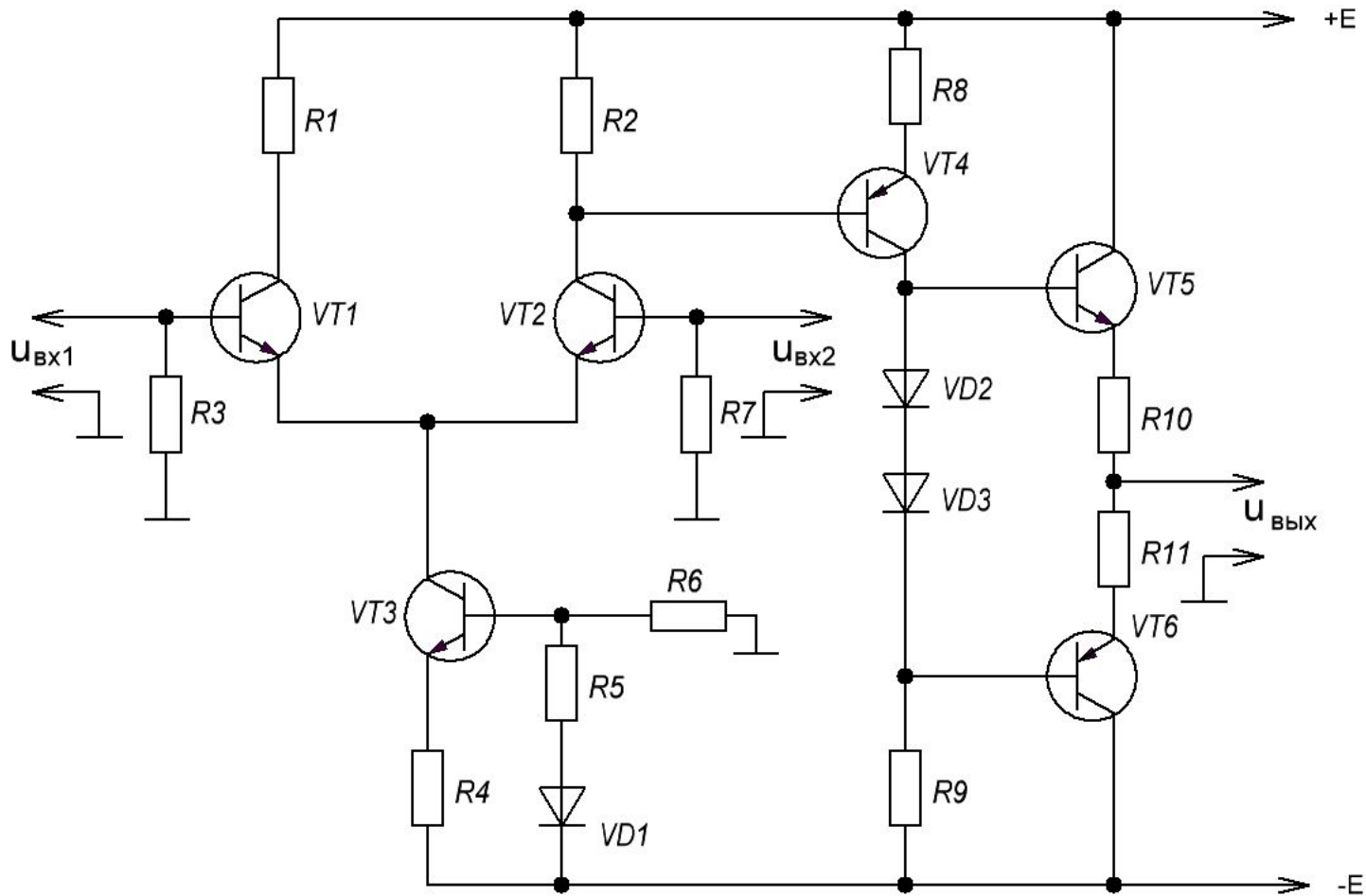
# Дифференциальный усилитель на основе источника тока



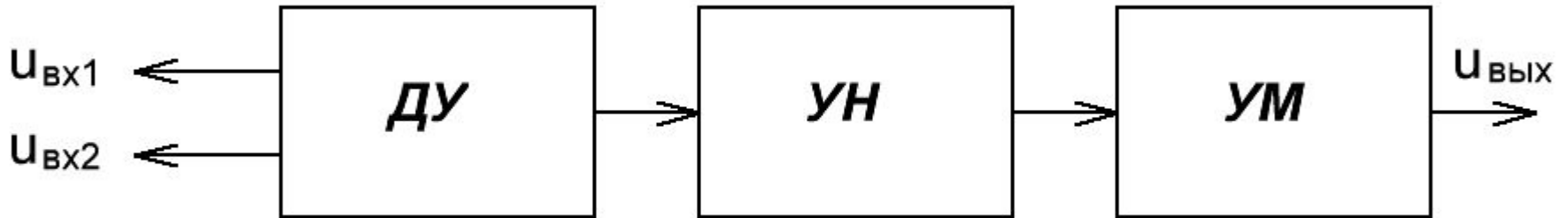
$$R_{\text{вн ИТ}} \gg R3$$

$$k_{uc} = -\frac{R1}{2R_{\text{вн ИТ}}} \ll 1$$

# Структура операционного усилителя



# Блок-схема ОУ

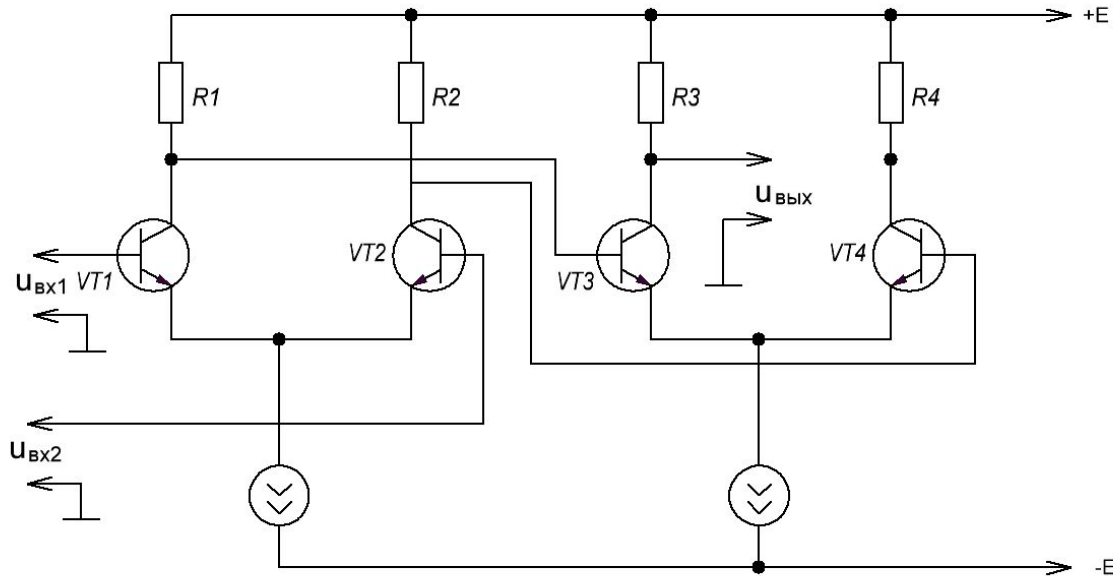
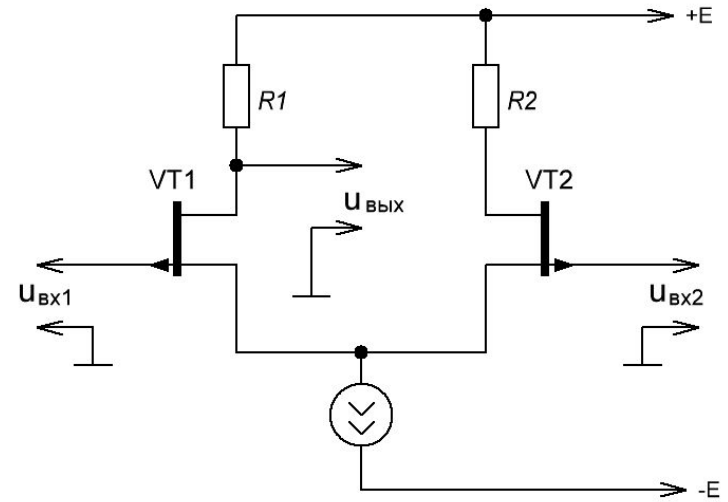
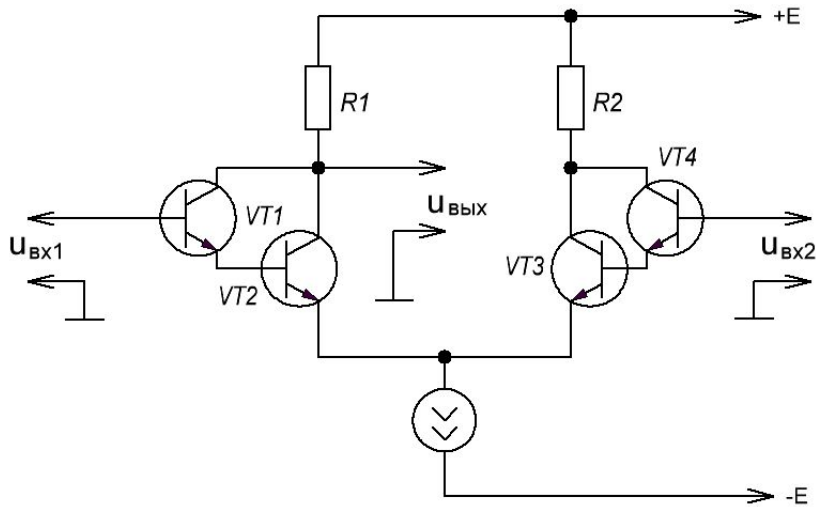


**ДУ – дифференциальный усилитель**

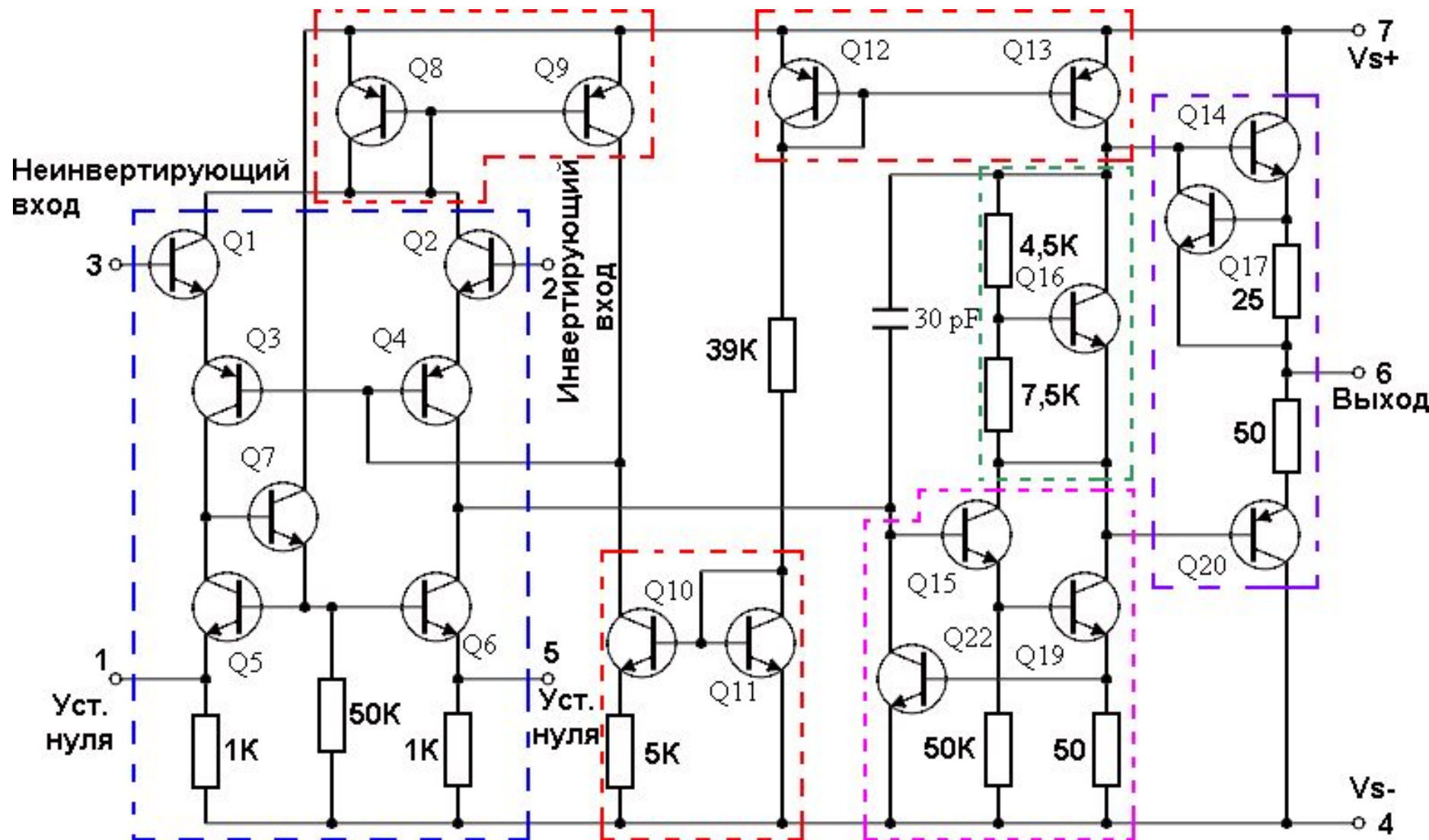
**УН – усилитель напряжения**

**УМ – усилитель мощности**

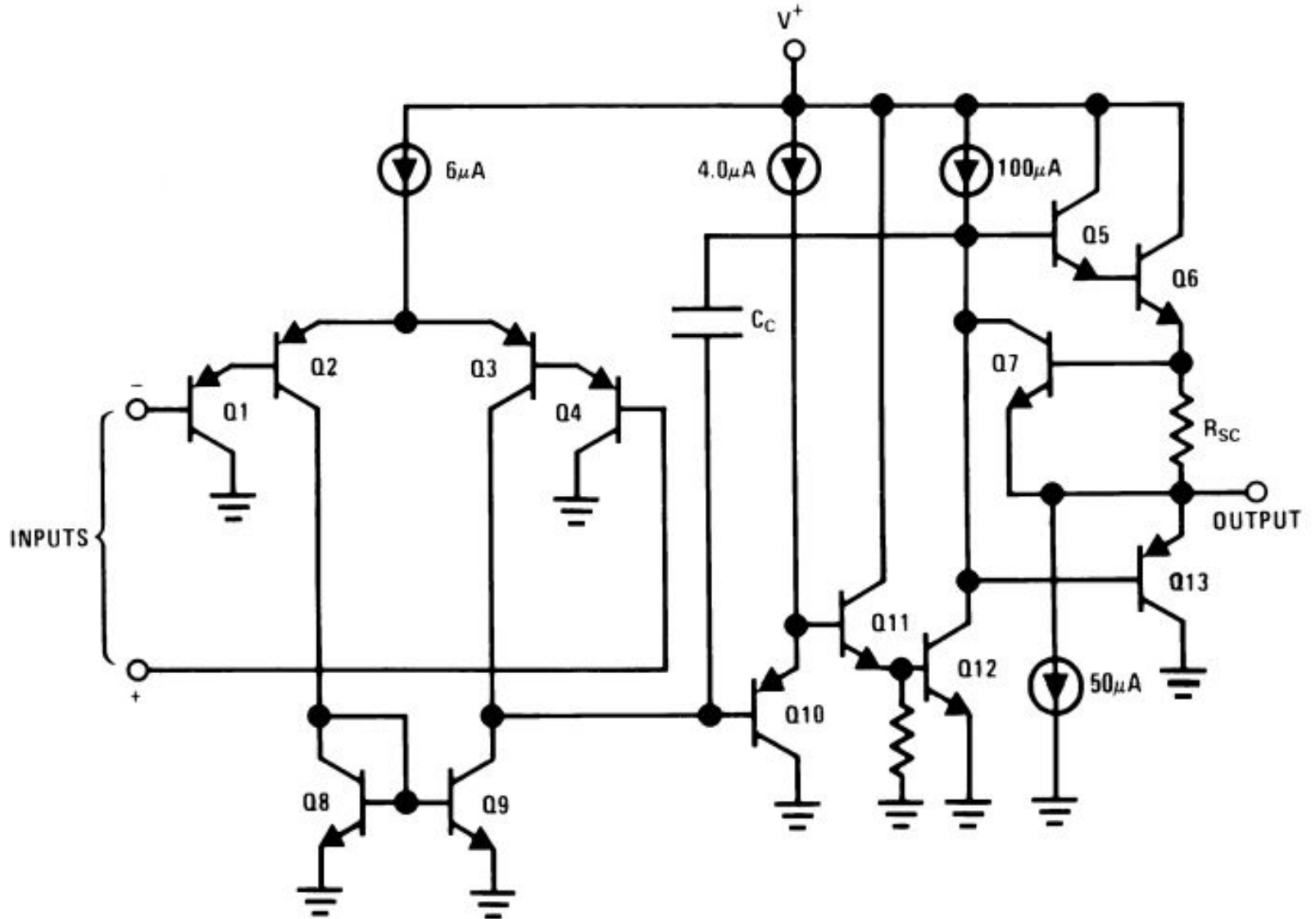
# Варианты исполнения входного дифференциального каскада



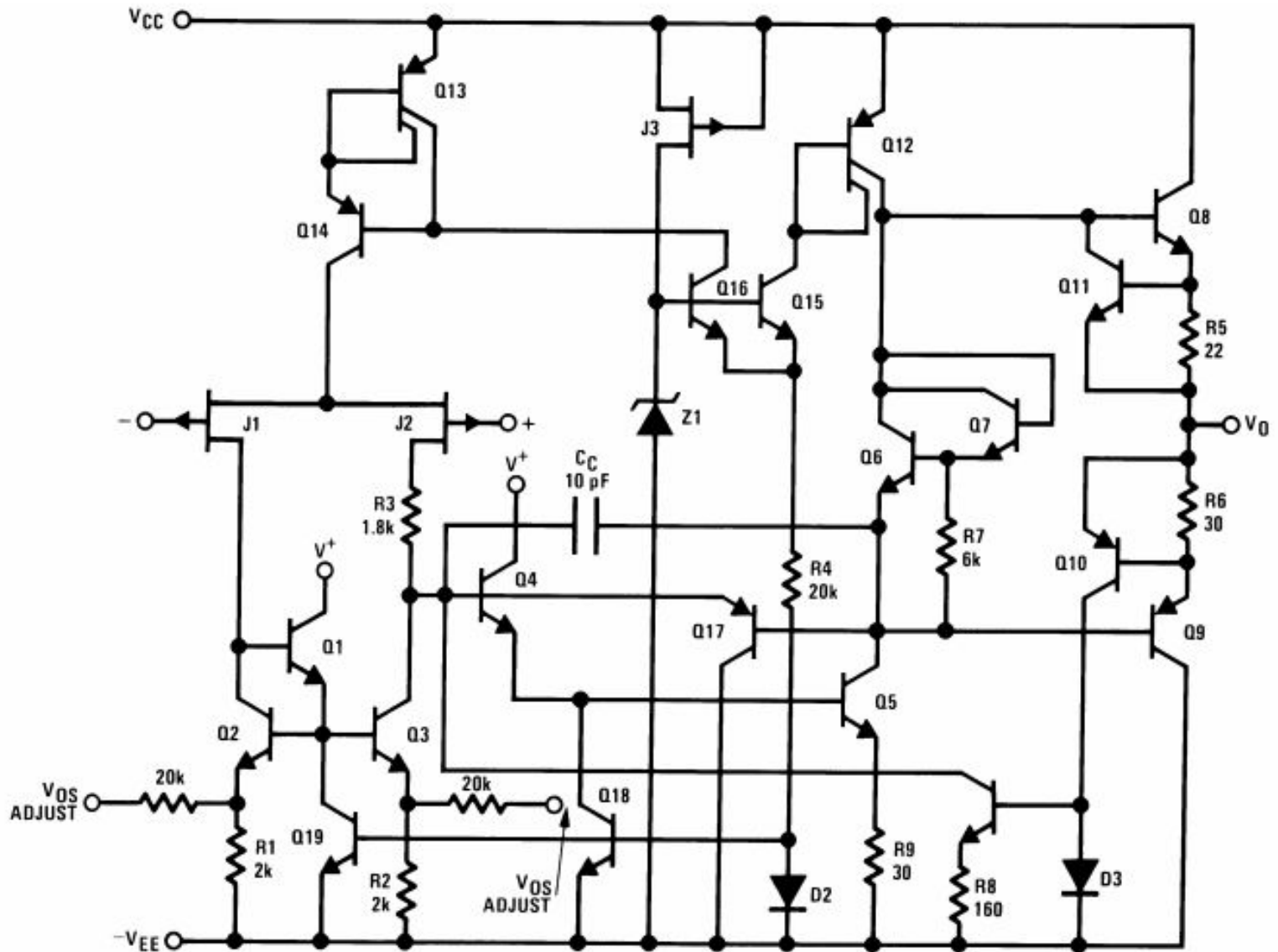
# LM741



# LM358

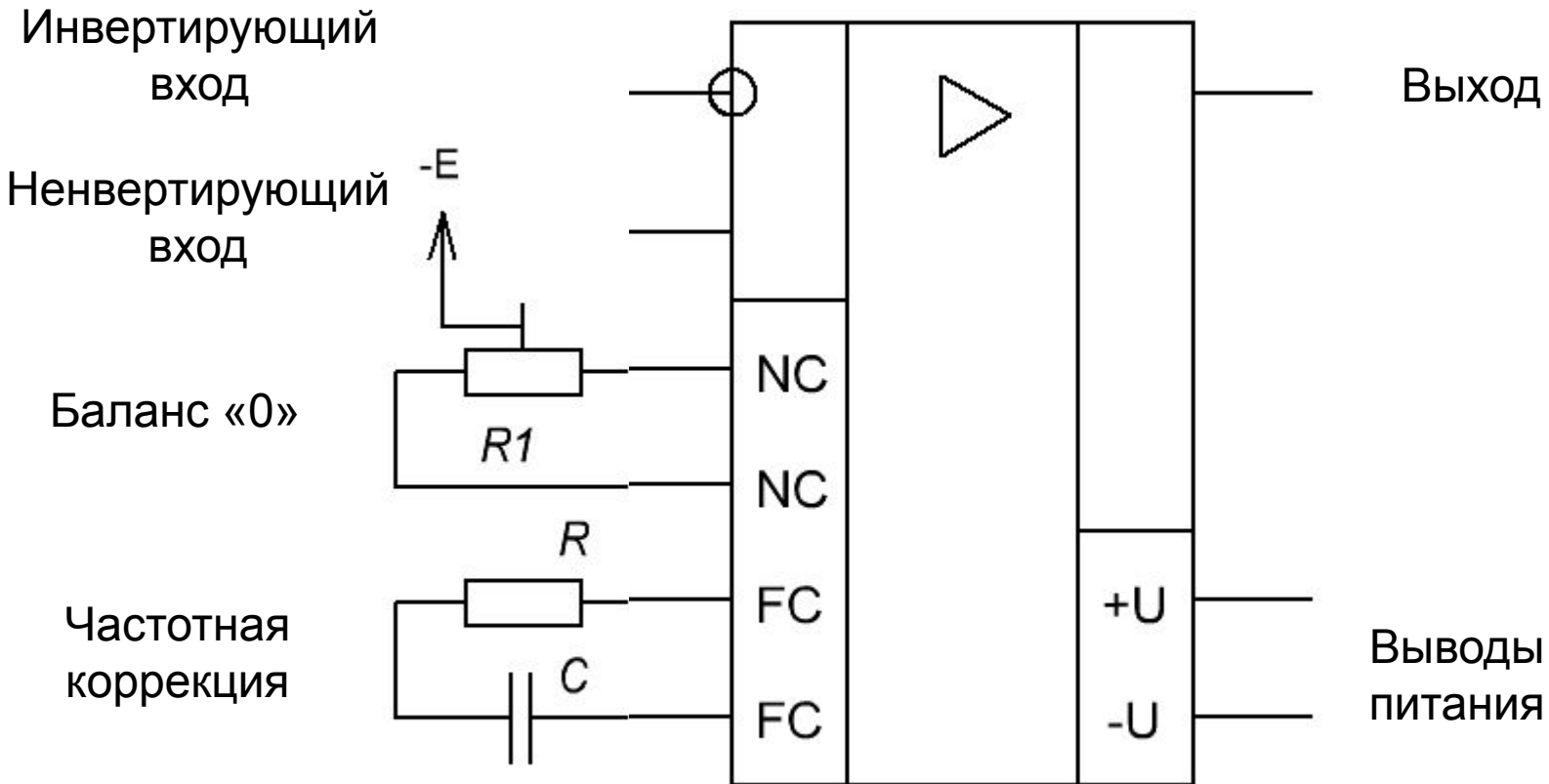


# LF411





# Обозначение ОУ



К544УД2