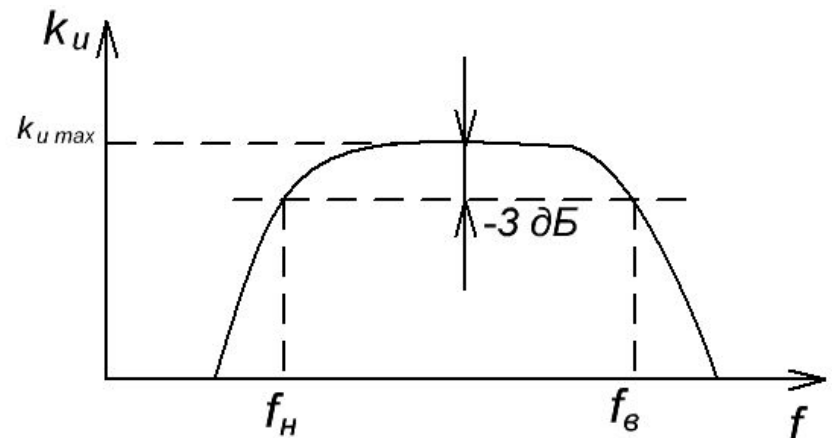
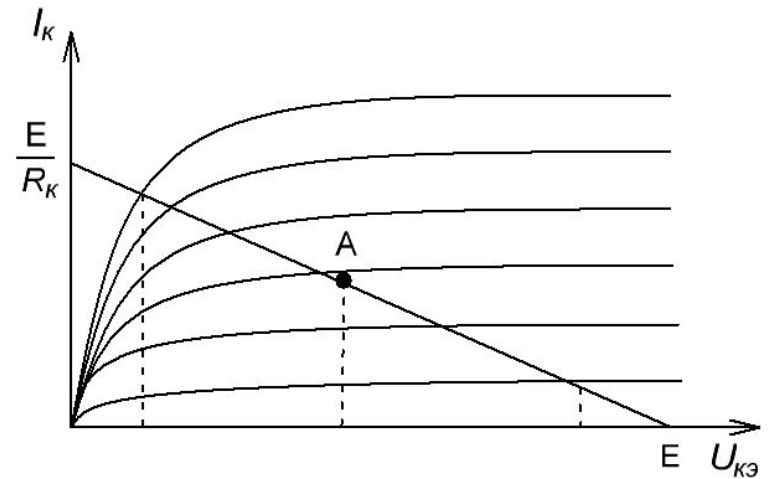
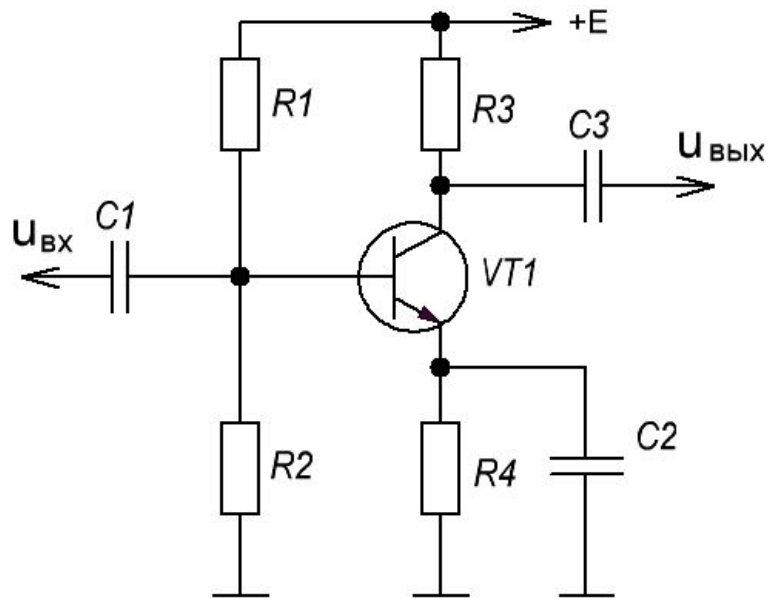


Аналоговые и цифровые электронные цепи

Ильин Михаил Владимирович

Усилители постоянного тока

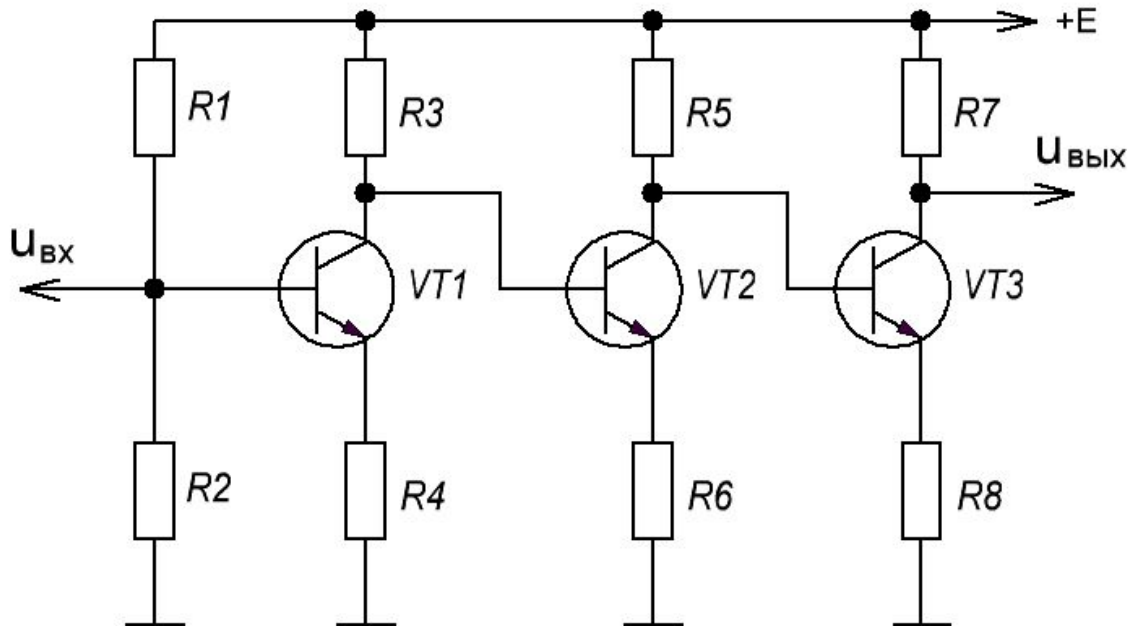
Усилитель переменного напряжения



Недостаток:

Невозможно усилить постоянное напряжение

Усилитель постоянного тока с непосредственной связью

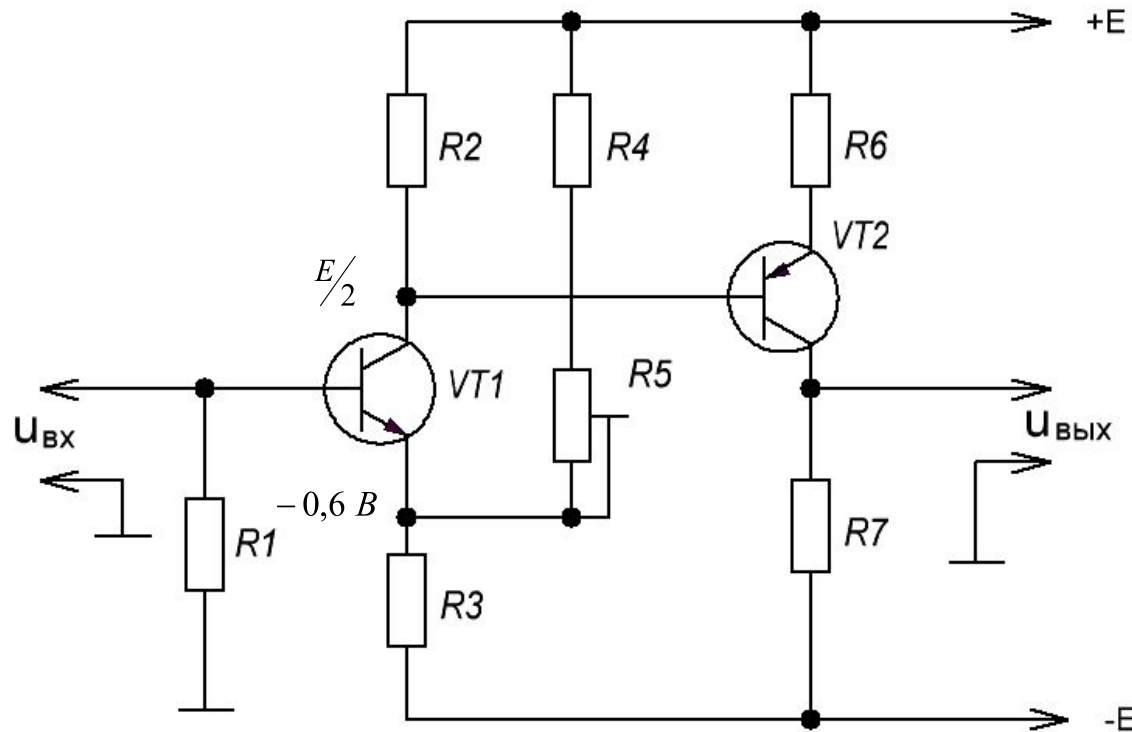


$$k_u \approx \frac{R_K}{R_Э}$$

Недостатки:

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

УПТ на комплементарных транзисторах



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

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

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

$$U_{э VT2} = U_{б VT2} + 0,6$$

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

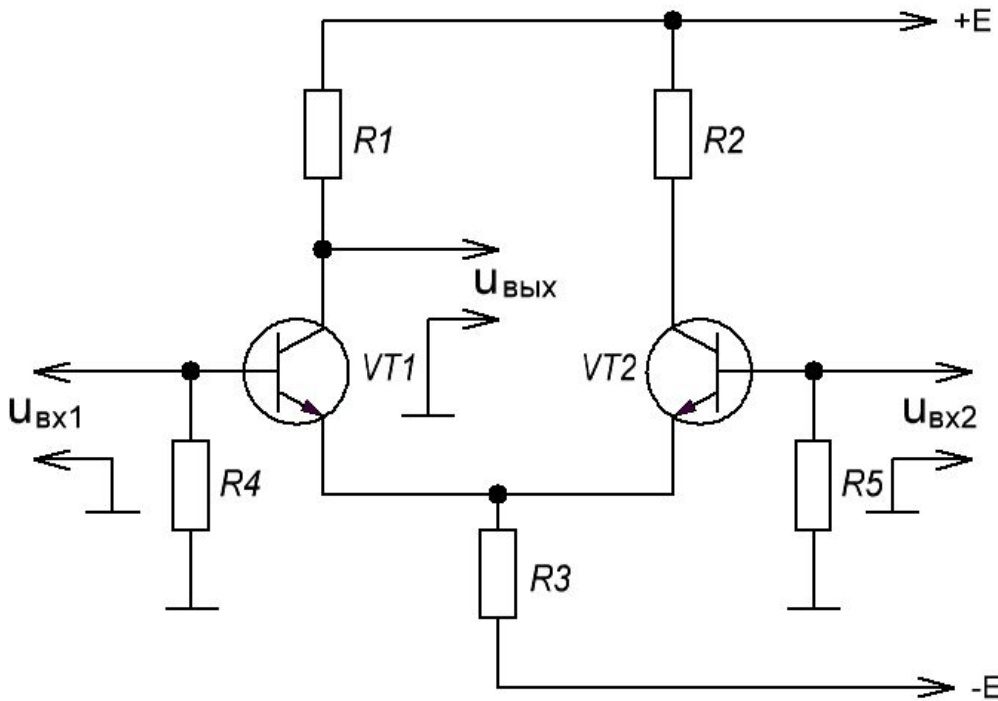
$$I_{к} \approx I_{э} \quad U_{э VT1} \approx -0,6 B$$

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

Недостаток:
1. Температурный дрейф

Дифференциальный усилитель

Рабочая точка



$$I_K VT1 = I_K VT2$$

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

$$U_{R3} = -E$$

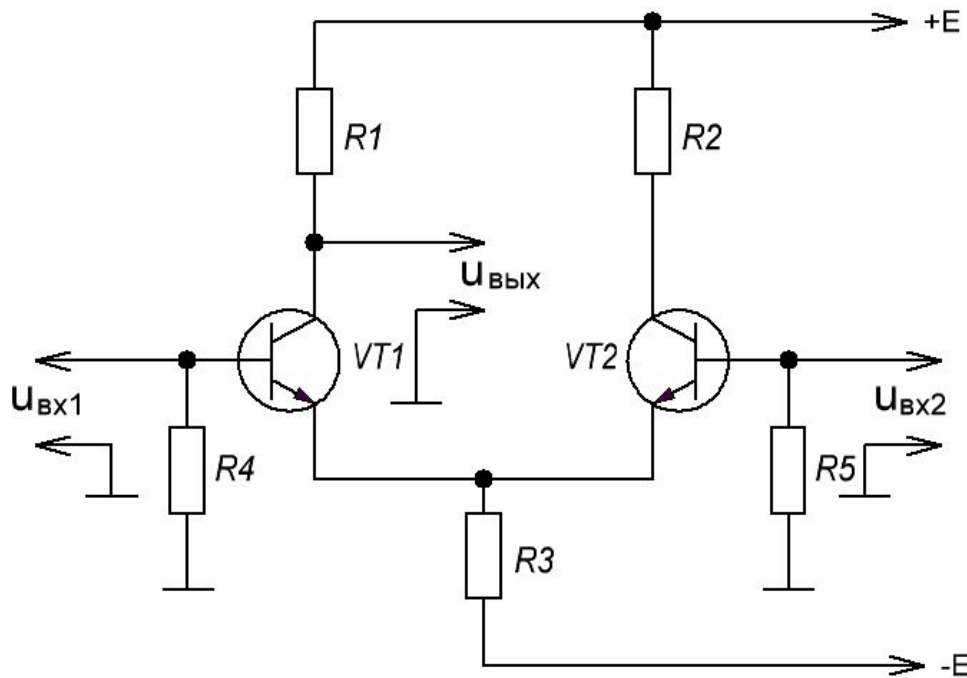
$$I_K \approx I_{\vartheta} \Rightarrow I_K = \frac{E}{2R3}$$

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

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

Дифференциальный усилитель

Коэффициент усиления синфазного напряжения



$$u_c = \frac{u_{ex1} + u_{ex2}}{2}$$

$$u_{ex1} = u_{ex2} = u_{ex} = u_c$$

$$i_{R3} = \frac{u_{ex}}{R3}$$

$$u_{вых} = -i_k \cdot R1$$

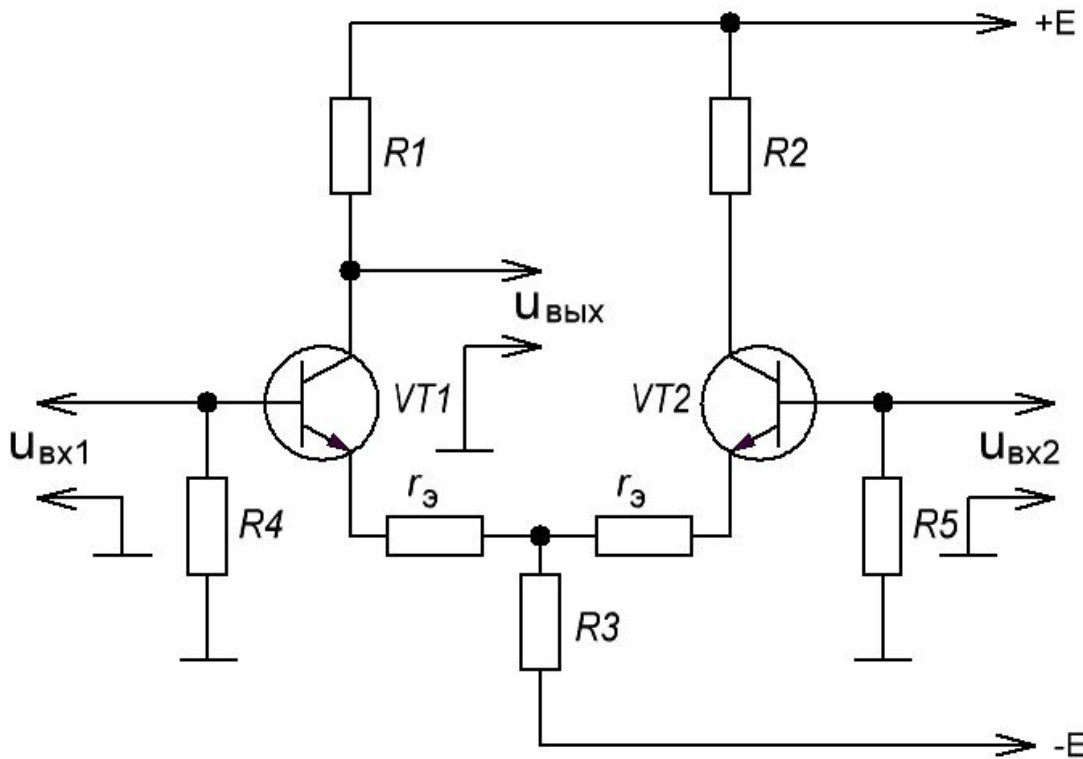
$$i_k \approx i_{\mathcal{O}} \Rightarrow u_{вых} = -\frac{u_{ex}}{2R3} \cdot R1$$

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

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

Дифференциальный усилитель

Коэффициент усиления дифференциального напряжения



$$u_{\partial} = u_{вх1} - u_{вх2}$$

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

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

$$u_{вых} = -i_{к} \cdot R1$$

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

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

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

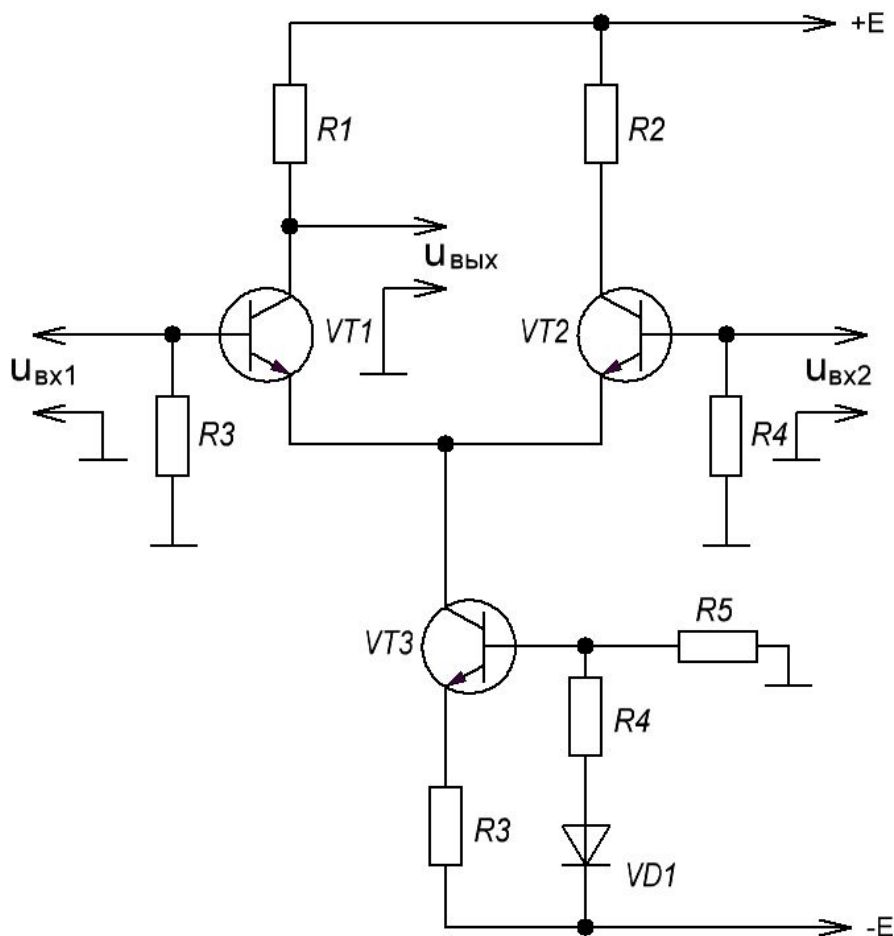
$$R1 \gg r_{э} \Rightarrow k_{u\partial} \gg 1$$

Дифференциальный усилитель

Коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС)

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

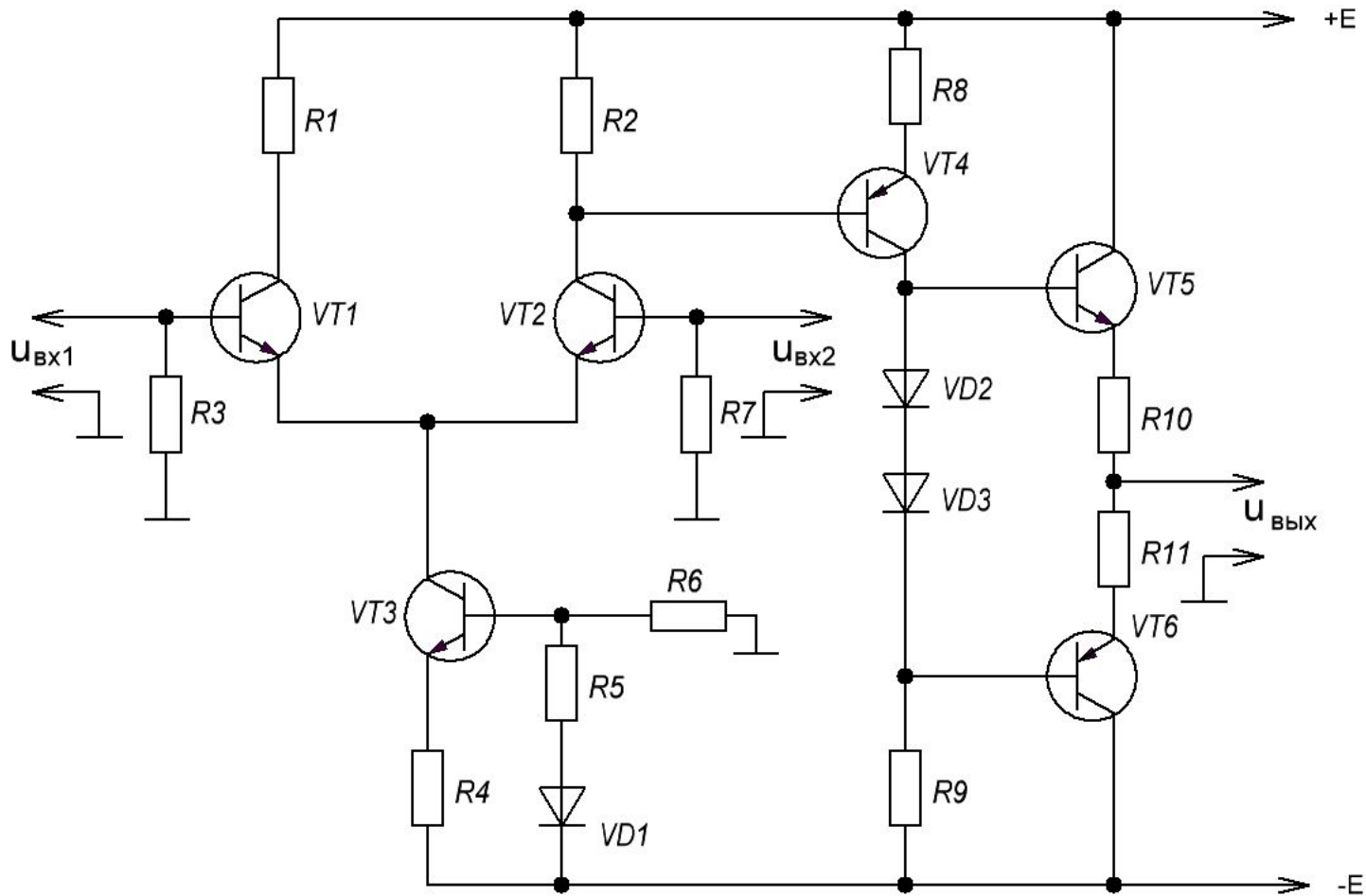
Дифференциальный усилитель на основе источника тока



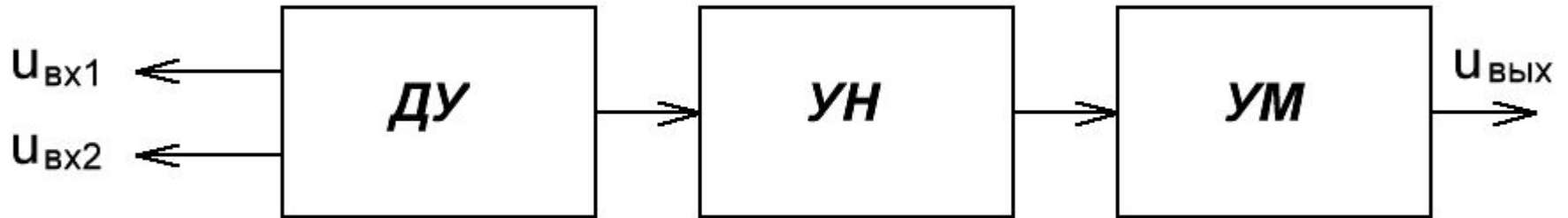
$$R_{\text{вн ИТ}} \gg R3$$

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

Структура операционного усилителя



Блок-схема ОУ

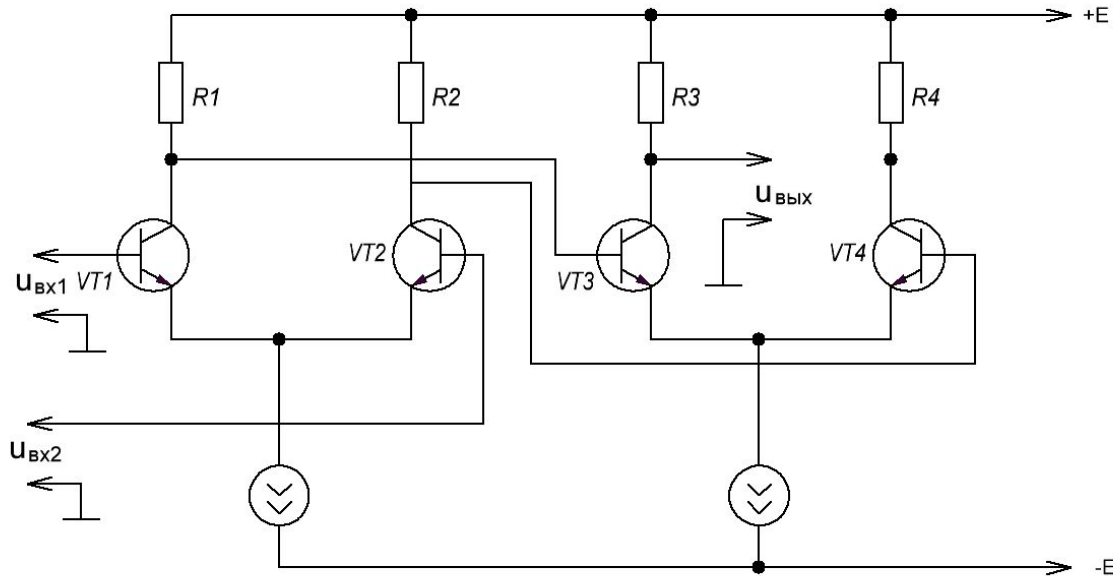
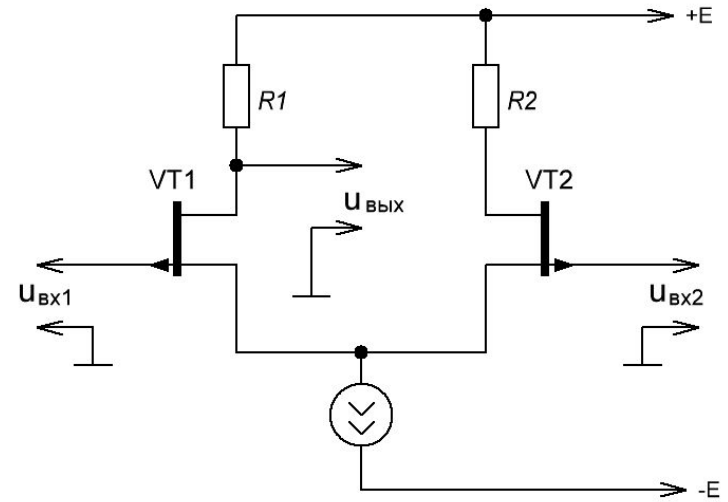
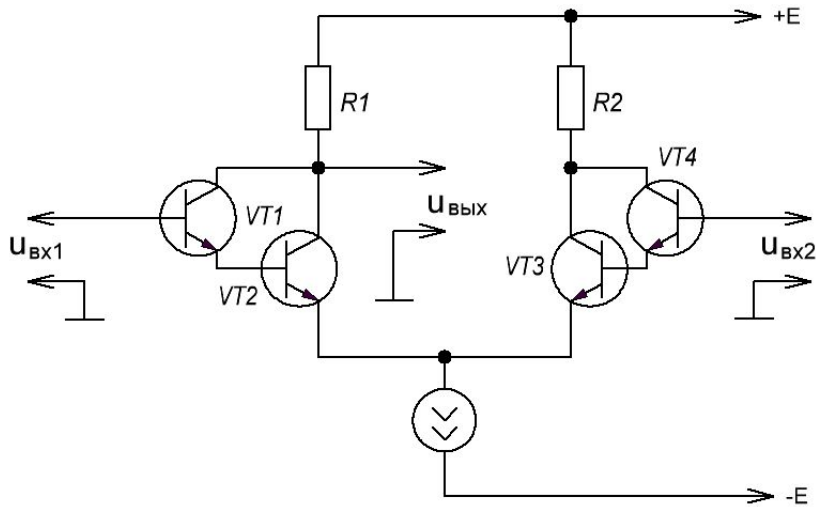


ДУ – дифференциальный усилитель

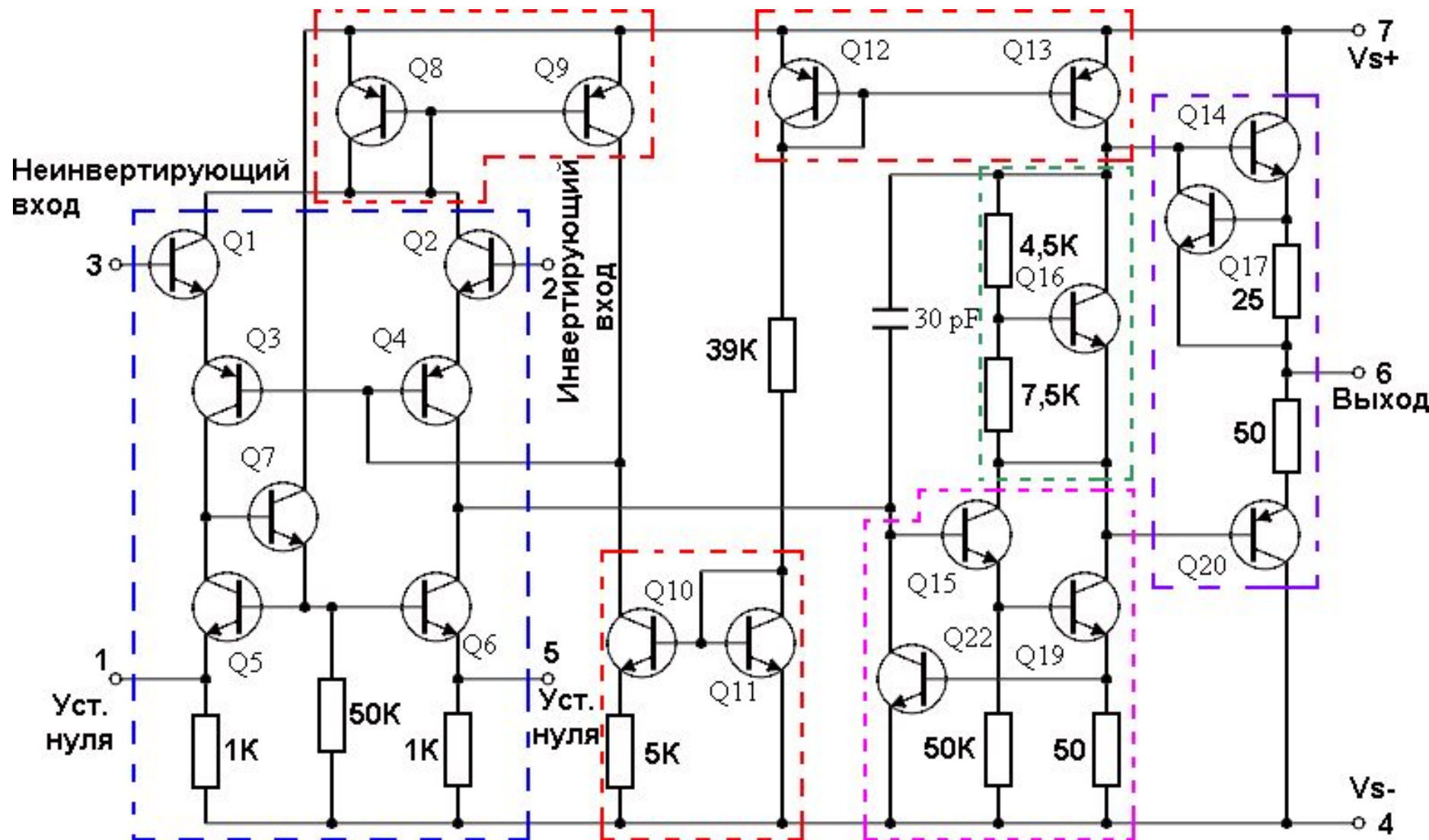
УН – усилитель напряжения

УМ – усилитель мощности

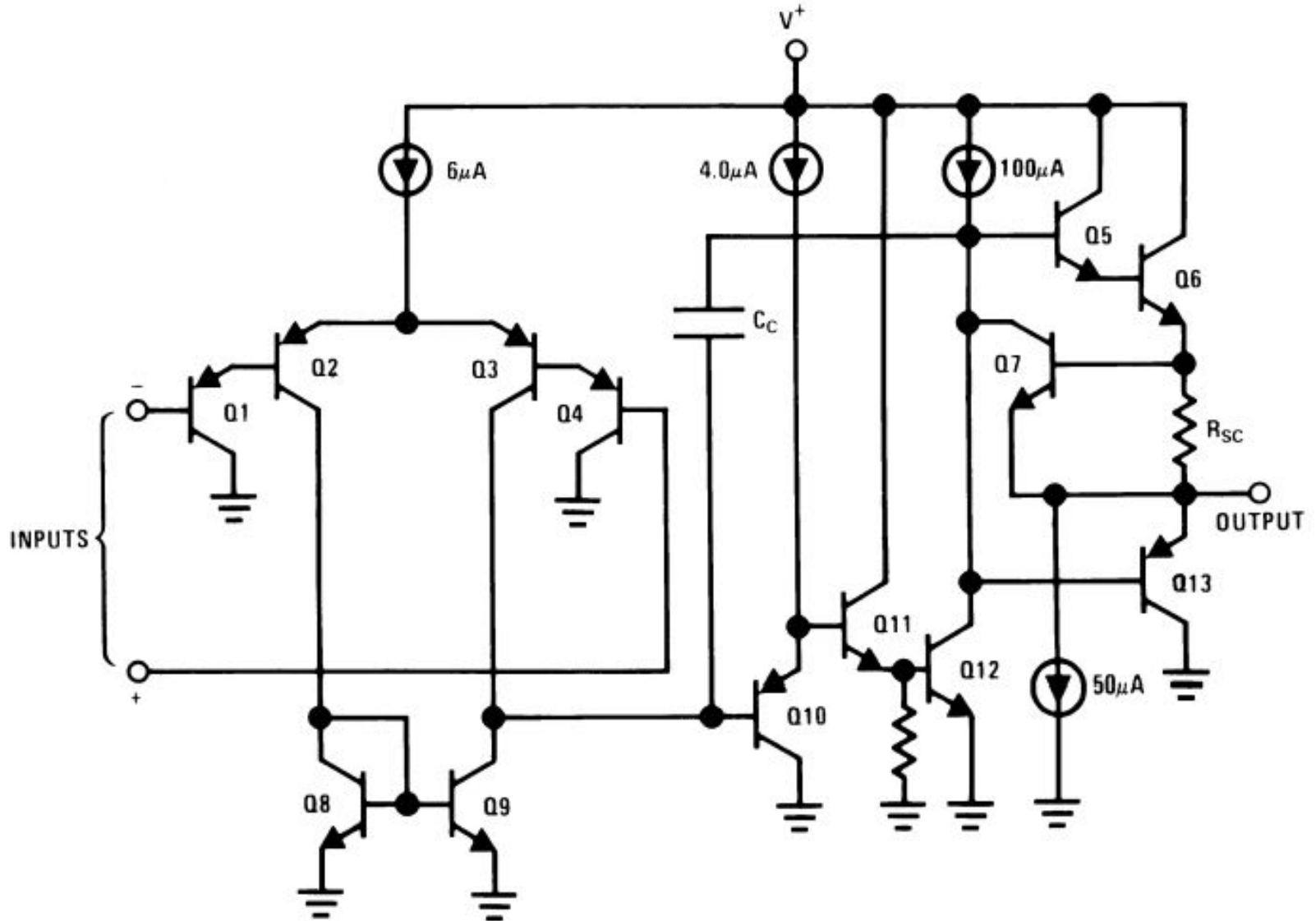
Варианты исполнения входного дифференциального каскада



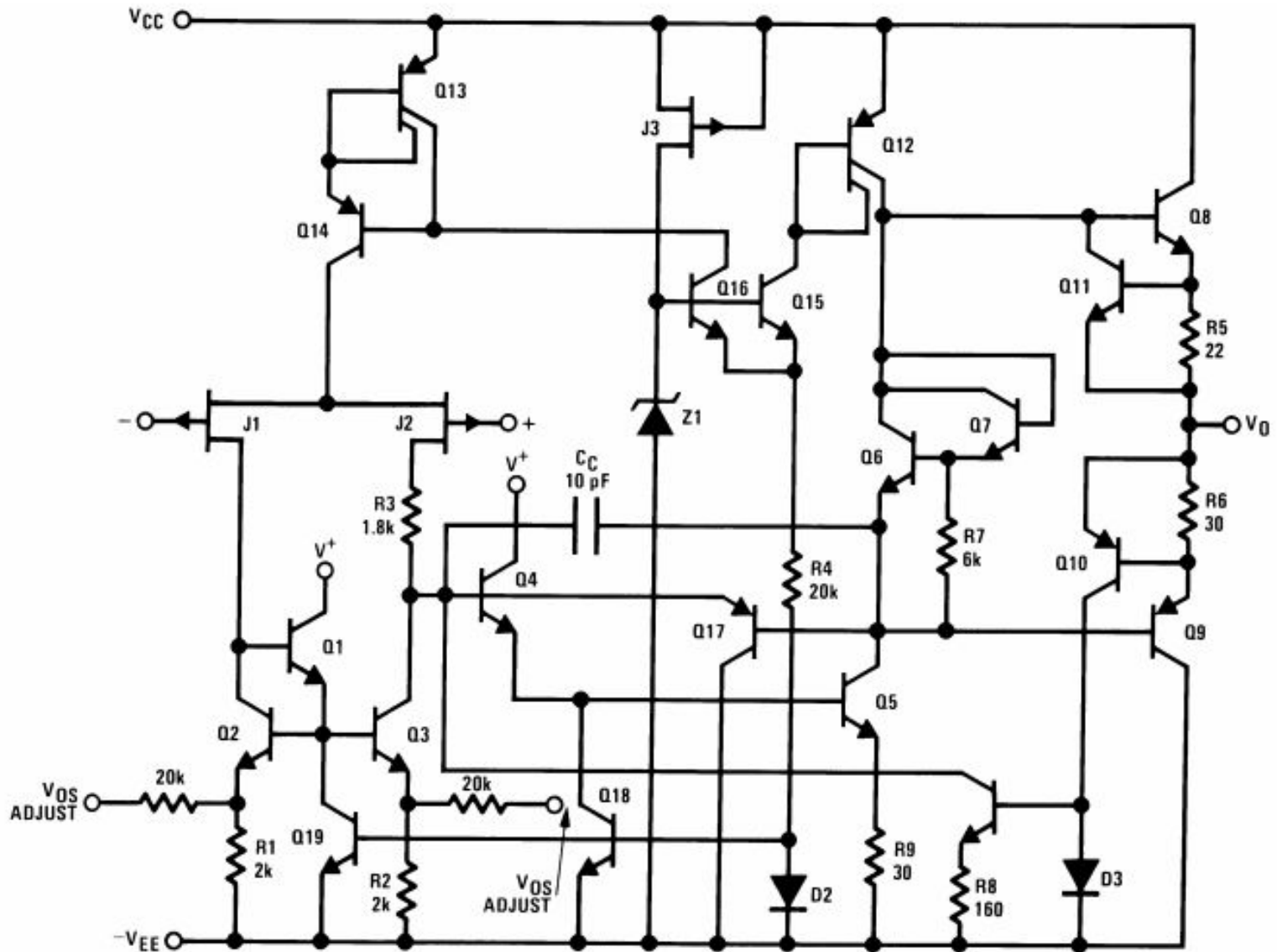
LM741



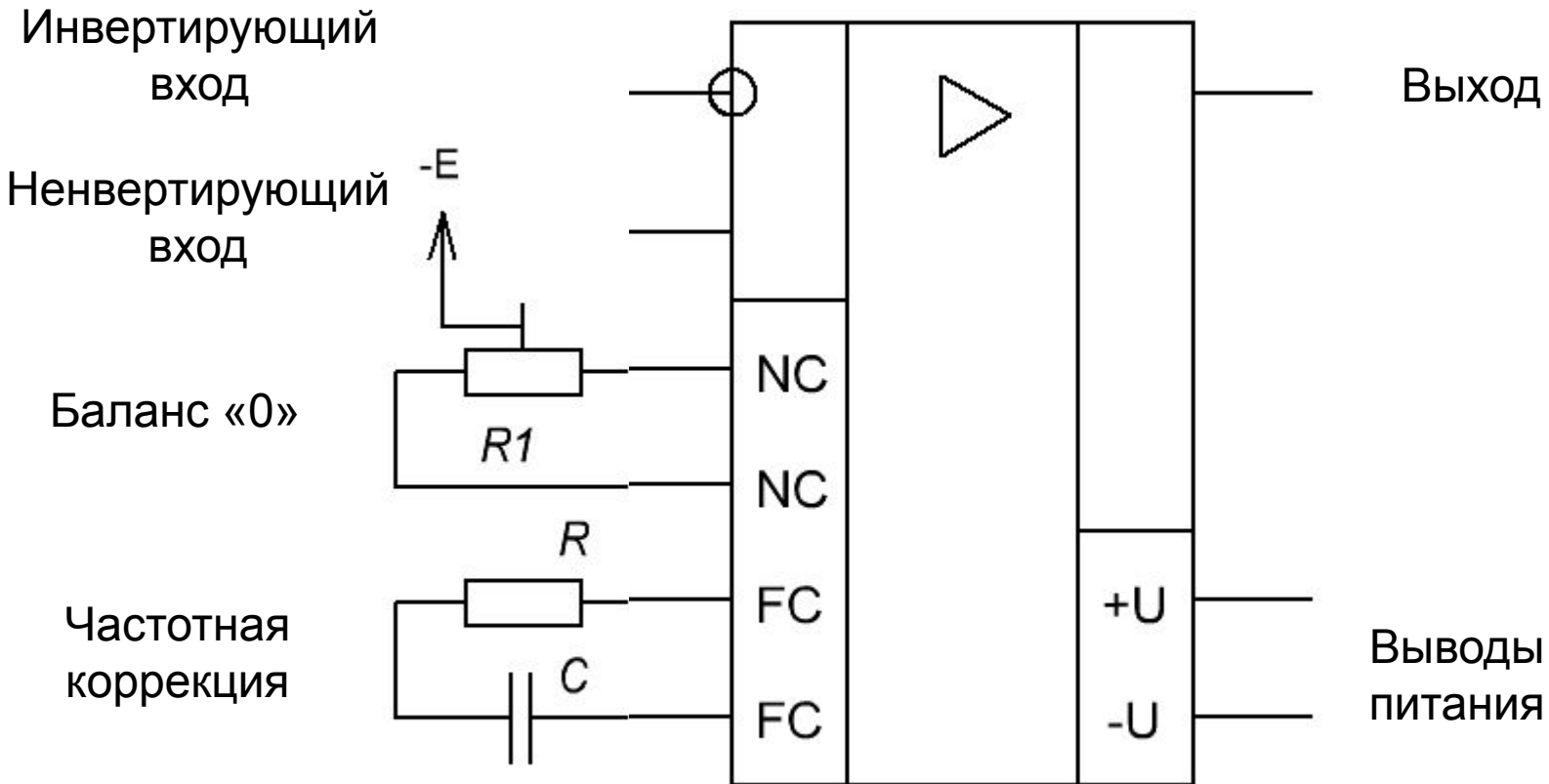
LM358



LF411



Обозначение ОУ



К544УД2