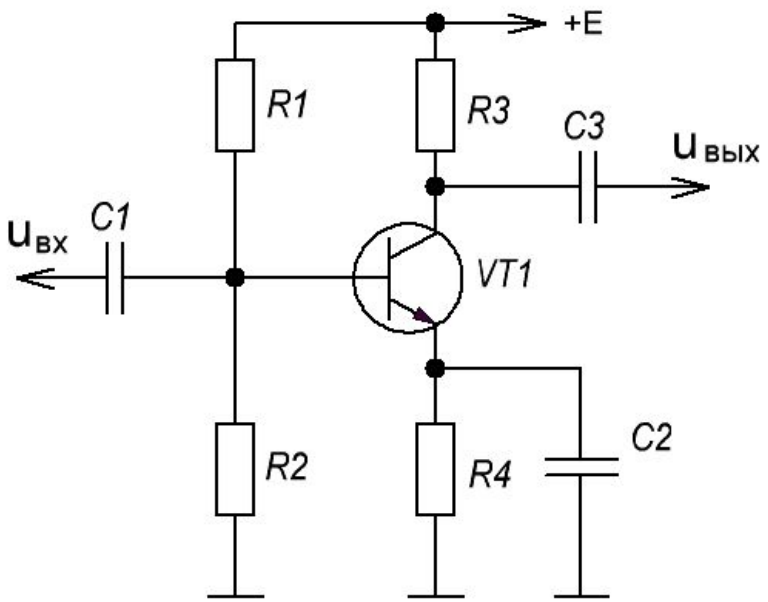
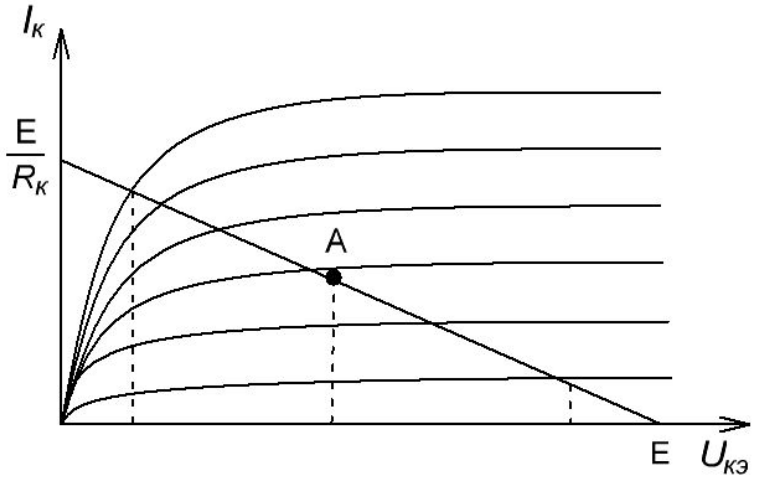
Аналоговые и цифровые электронные цепи

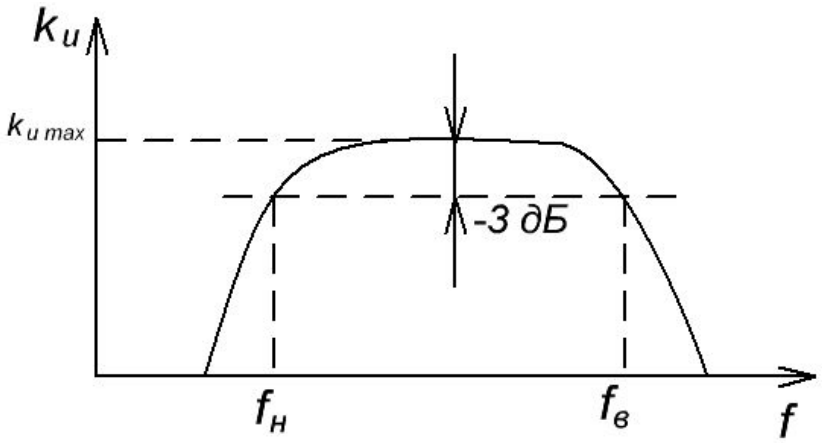
Ильин Михаил Владимирович

Усилители постоянного тока

Усилитель переменного напряжения



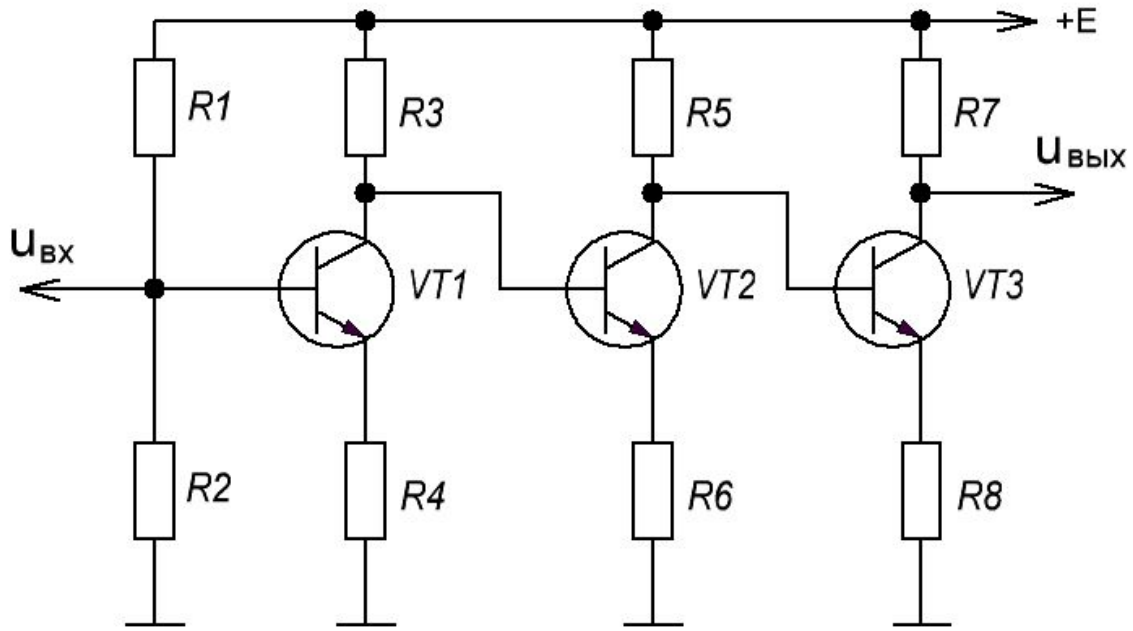




Недостаток:

Невозможно усилить постоянное напряжение

Усилитель постоянного тока с непосредственной связью



$$k_u \approx \frac{R_к}{R_э}$$

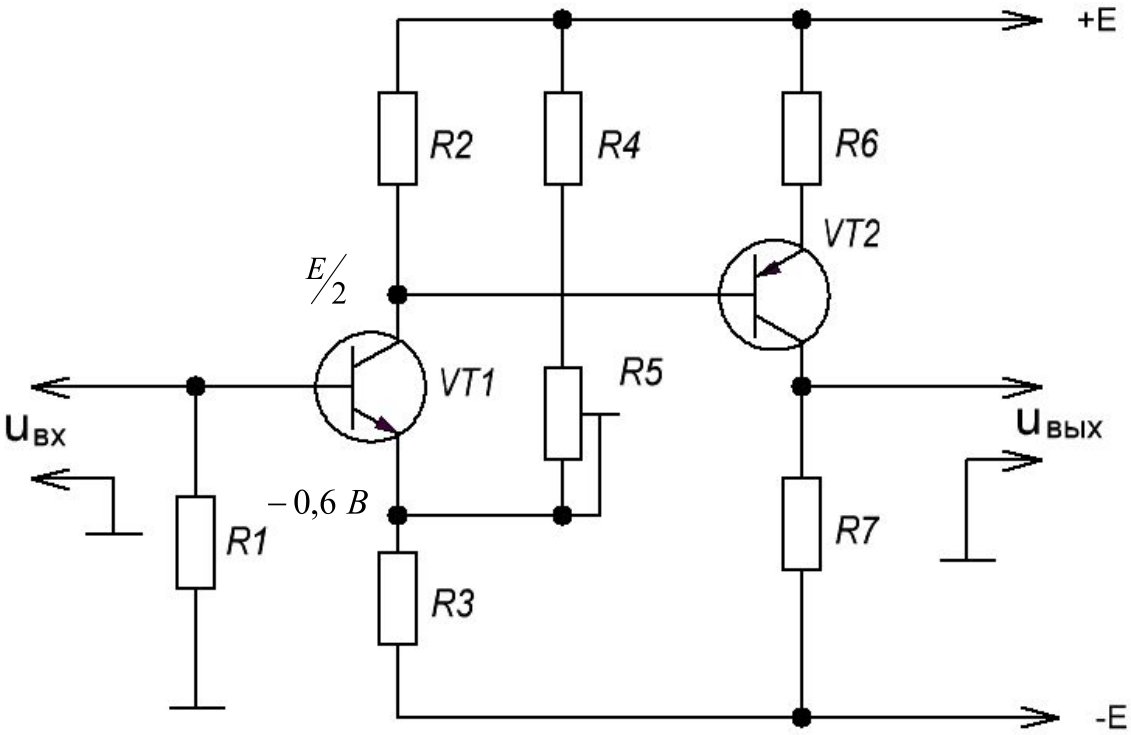
Недостатки:

1. Ограниченность коэффициента усиления

2. При Uвх = 0, Uвых ≠ 0

3. Температурный дрейф

УПТ на комплементарных транзисторах



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

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

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

$$U_{эVT2} = U_{б\ VT2} + 0{,}6$$

$$R6 = \frac{U_{R6}}{I_{к\ VT2}} = \frac{(+E) - U_{эVT2}}{I_{к\ VT2}}$$

$$I_к \approx I_э \qquad U_{э\ VT1} \approx -0{,}6\ В$$

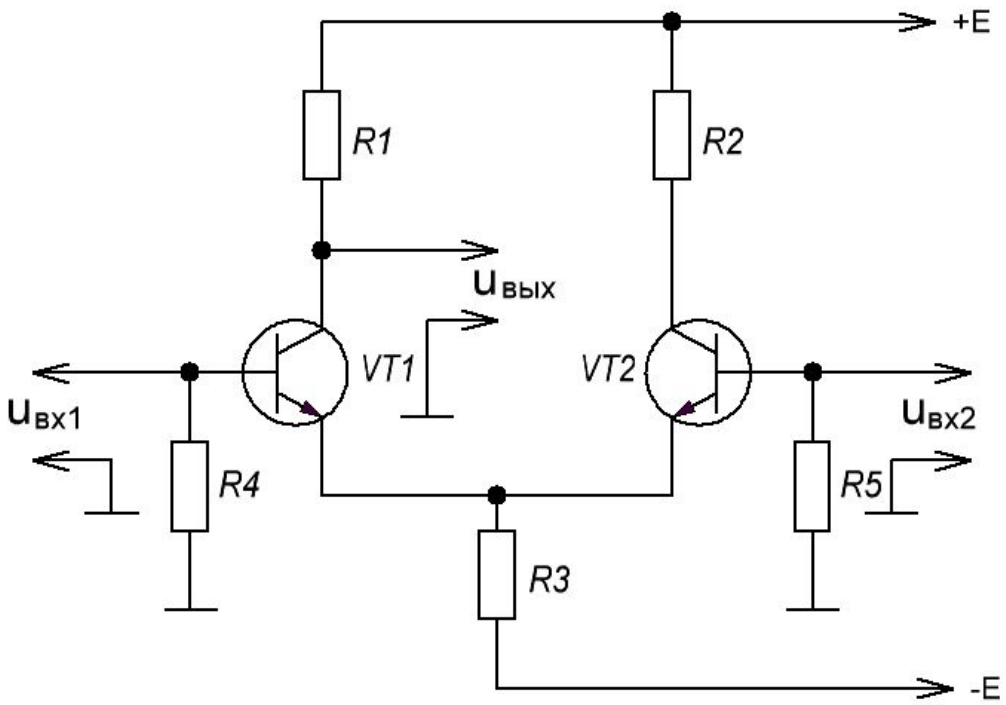
$$k_u = \frac{R2}{R3 \,||\, (R4 + R5)} \cdot \frac{R6}{R7}$$

Недостаток:

1. Температурный дрейф

Дифференциальный усилитель

Рабочая точка



$$I_{к\ VT1} = I_{к\ VT2}$$

$$I_{R3} = 2I_{э}$$

$$U_{R3} = -E$$

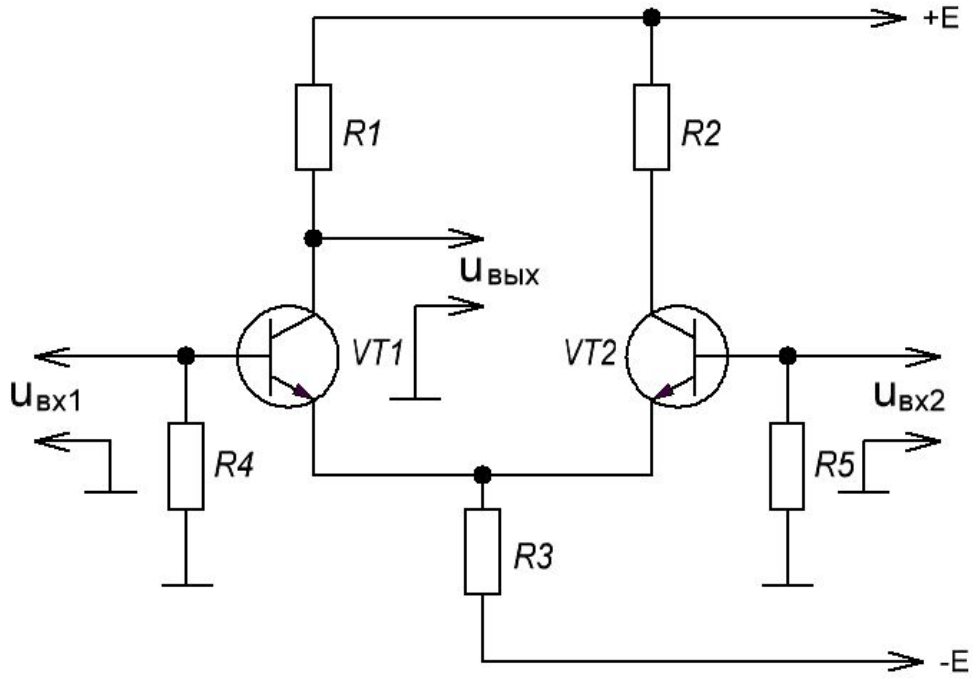
$$I_{к} \approx I_{э} \quad \Rightarrow \quad I_{к} = \frac{E}{2R3}$$

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

$$R1 = R2 = R3 \quad \Rightarrow \quad U_{к} = \frac{E}{2}$$

Дифференциальный усилитель

Коэффициент усиления синфазного напряжения



$$u_c = \frac{u_{вх1} + u_{вх2}}{2}$$

$$u_{вх1} = u_{вх2} = u_{вх} = u_c$$

$$i_{R3} = \frac{u_{вх}}{R3}$$

$$u_{вых} = -i_к \cdot R1$$

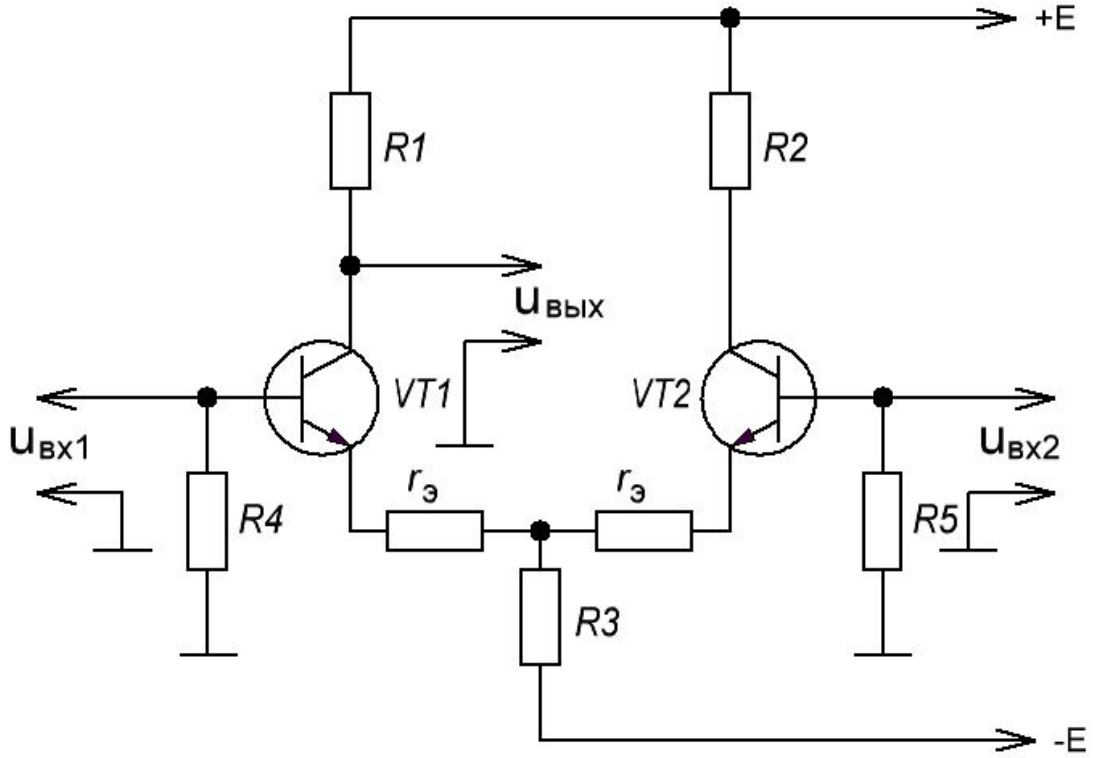
$$i_к \approx i_э \Rightarrow u_{вых} = -\frac{u_{вх}}{2R3} \cdot R1$$

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

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

Дифференциальный усилитель

Коэффициент усиления дифференциального напряжения



$$u_д = u_{вх1} - u_{вх2}$$

$$r_э \approx \frac{26\,мВ}{I_э(мА)}$$

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

$$u_{вых} = -i_к \cdot R1$$

$$i_к \approx i_э \Rightarrow i_{к1} = -i_{к2} \approx \frac{u_{вх1} - u_{вх2}}{2r_э}$$

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

$$k_{uд} = \frac{u_{вых}}{u_{вх1} - u_{вх2}} = -\frac{R1}{2r_э}$$

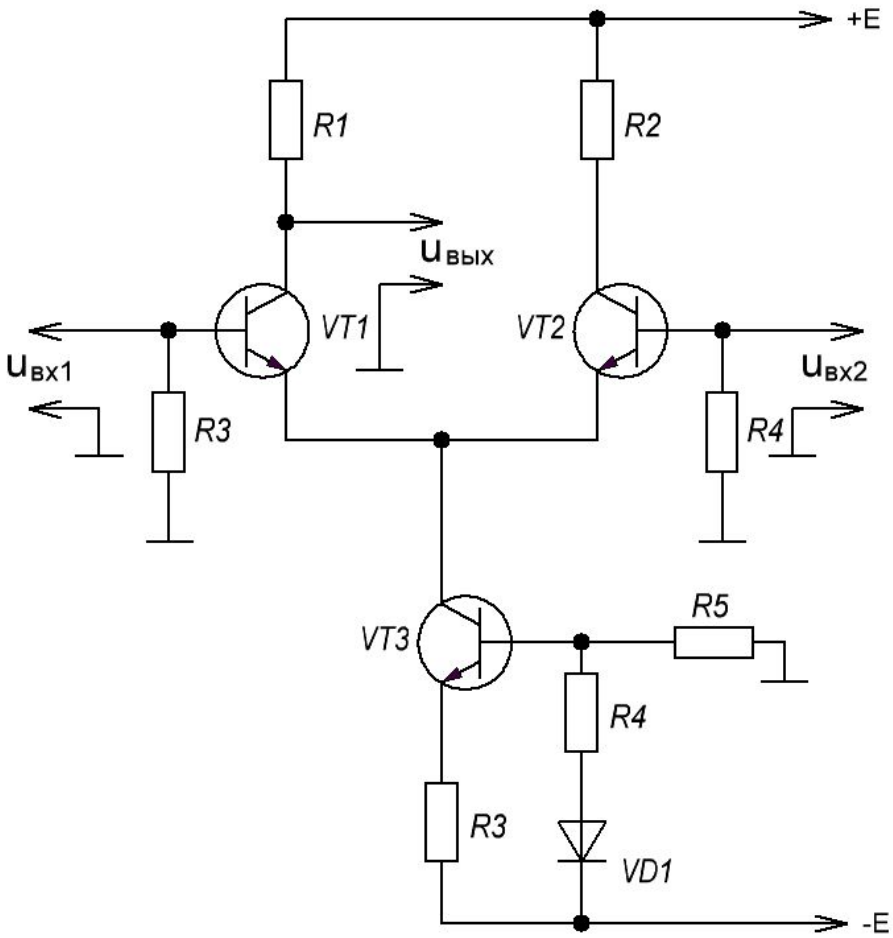
$$R1 >> r_э \Rightarrow k_{uд} >> 1$$

Дифференциальный усилитель

Коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС)

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

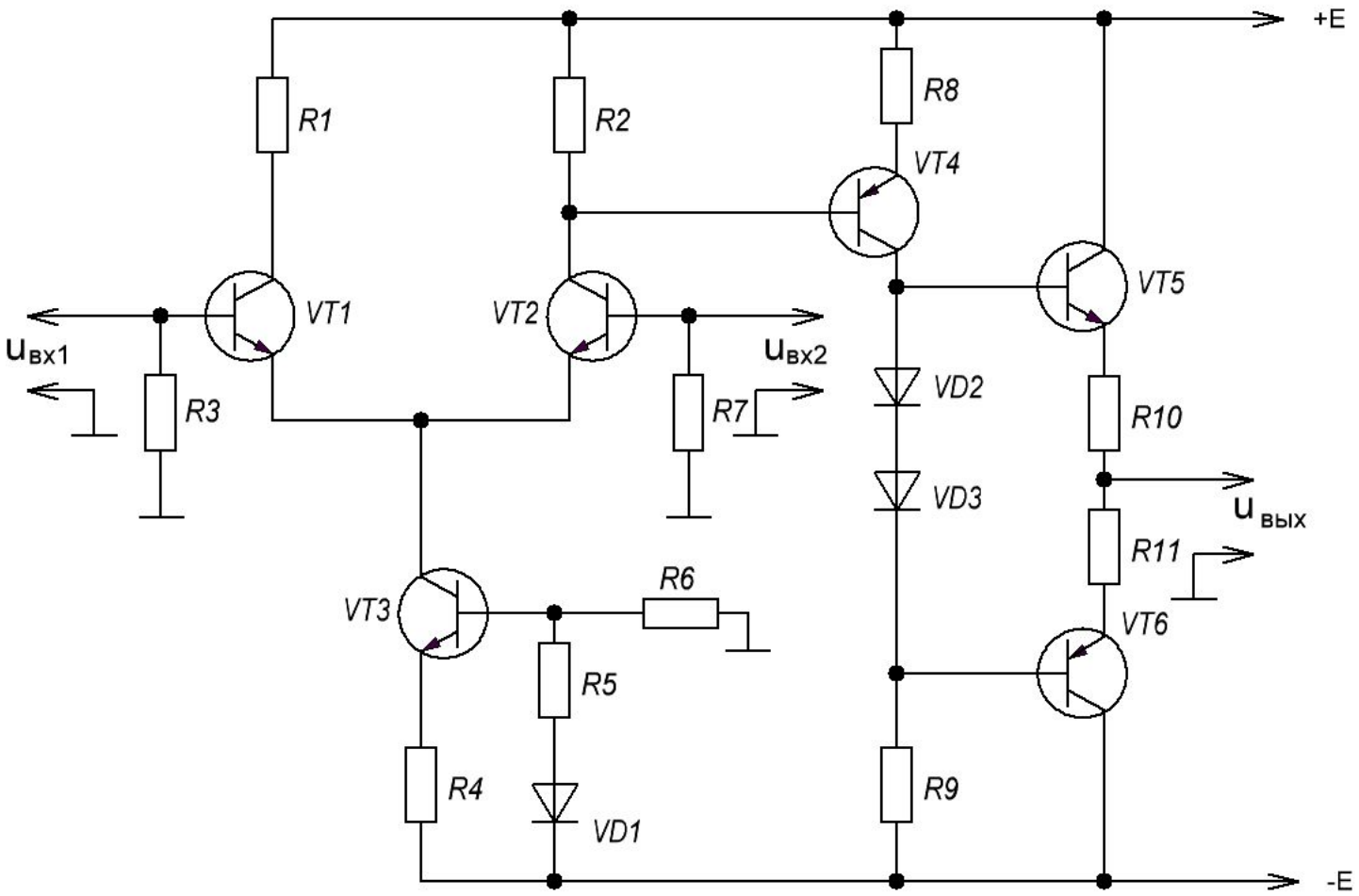
Дифференциальный усилитель на основе источника тока



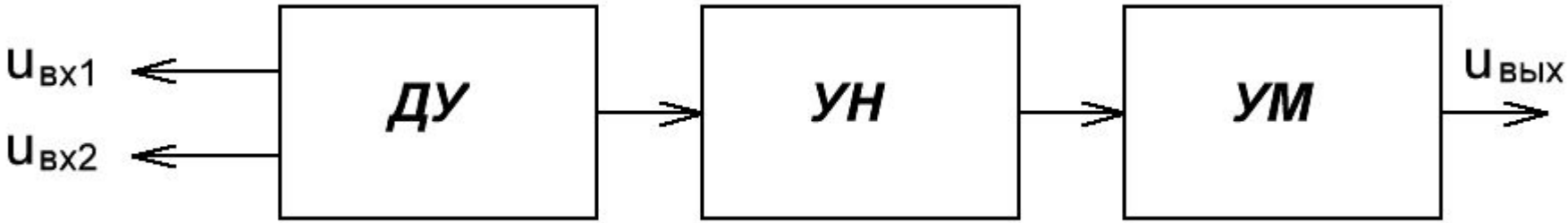
$$R_{вн\ ИТ} >> R3$$

$$k_{ис} = -\frac{R1}{2R_{вн\,ИТ}} << 1$$

Структура операционного усилителя



Блок-схема ОУ

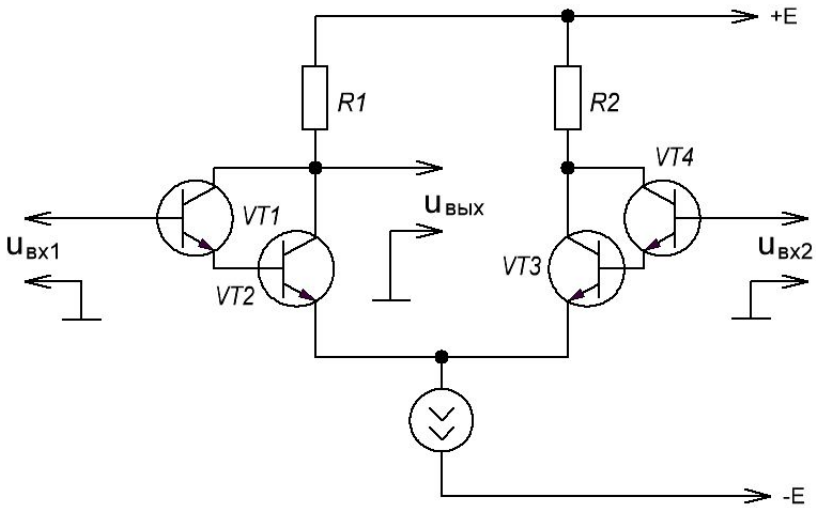


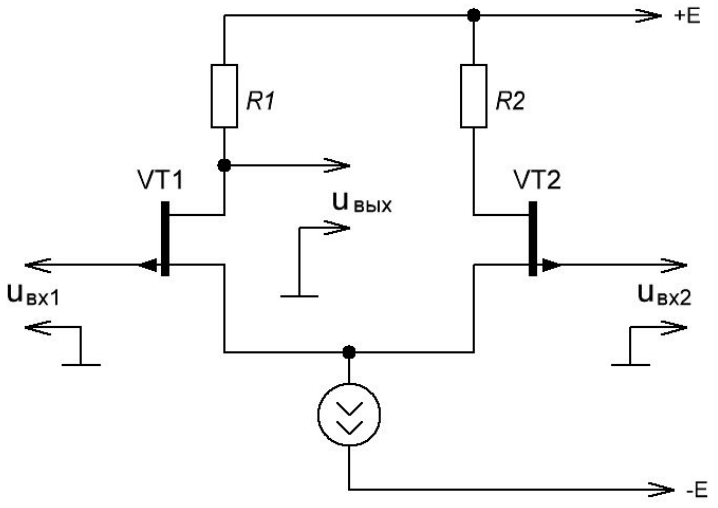
ДУ – дифференциальный усилитель

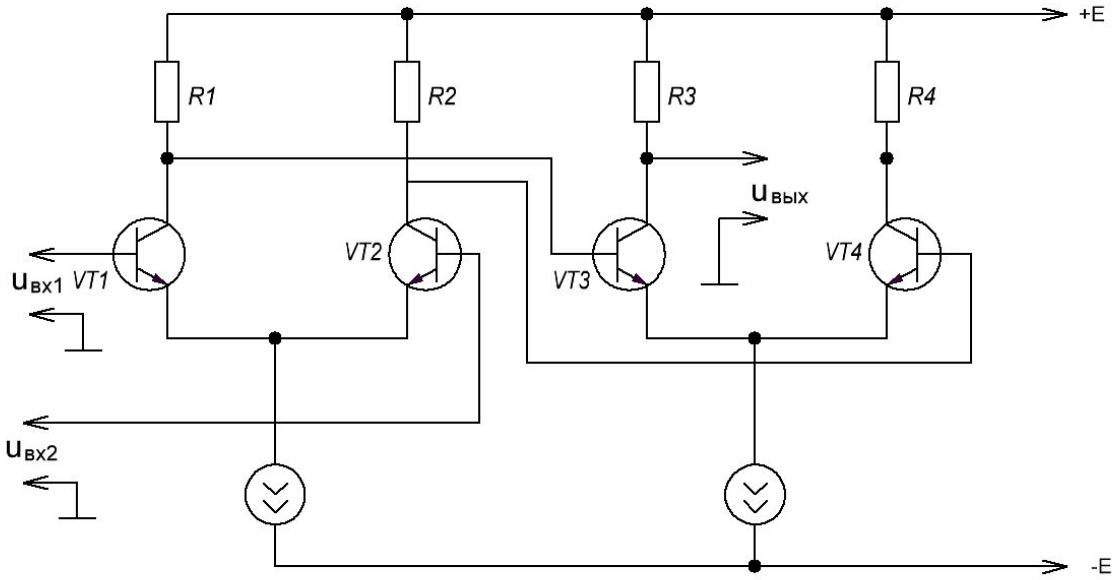
УН – усилитель напряжения

УМ – усилитель мощности

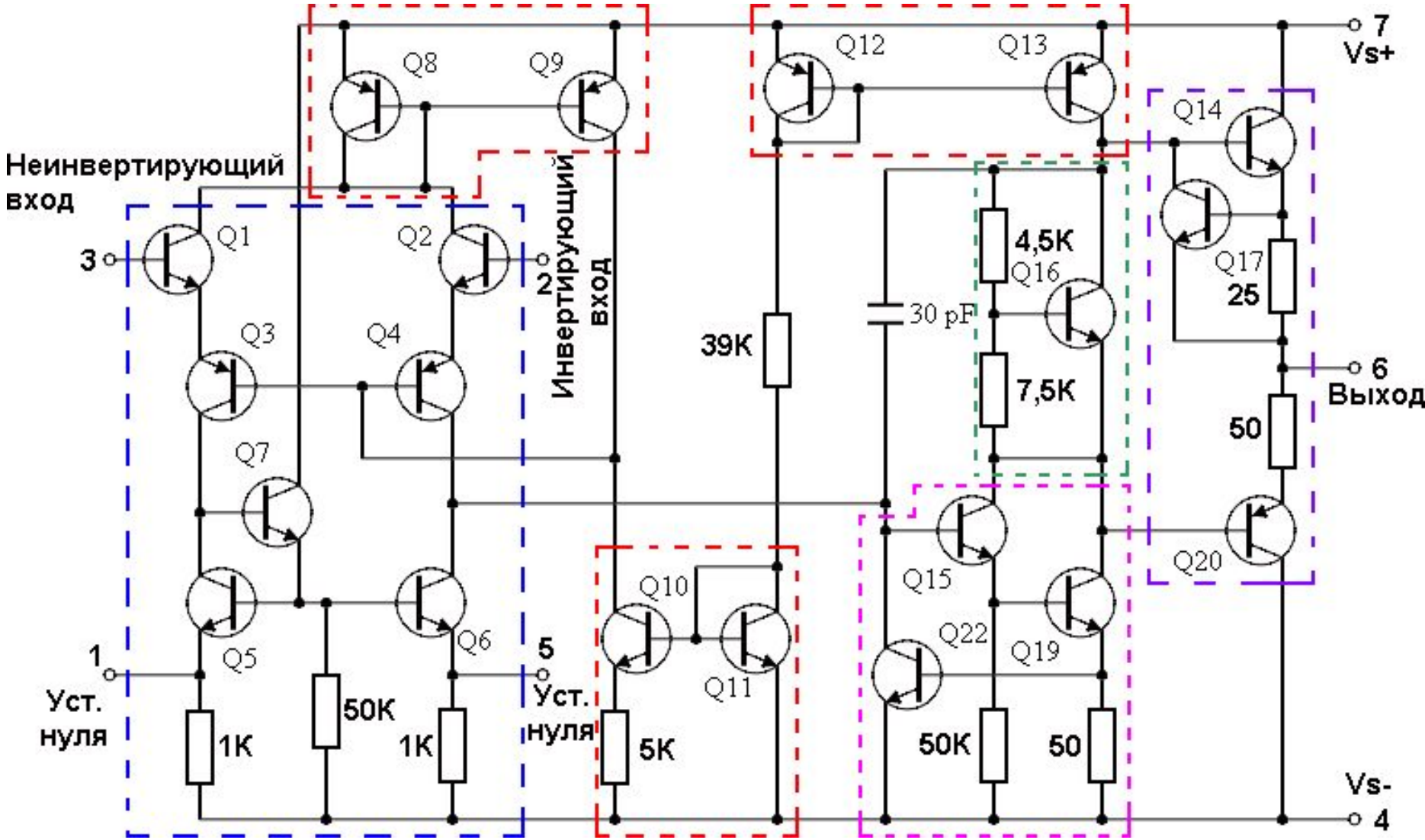
Варианты исполнения входного дифференциального каскада



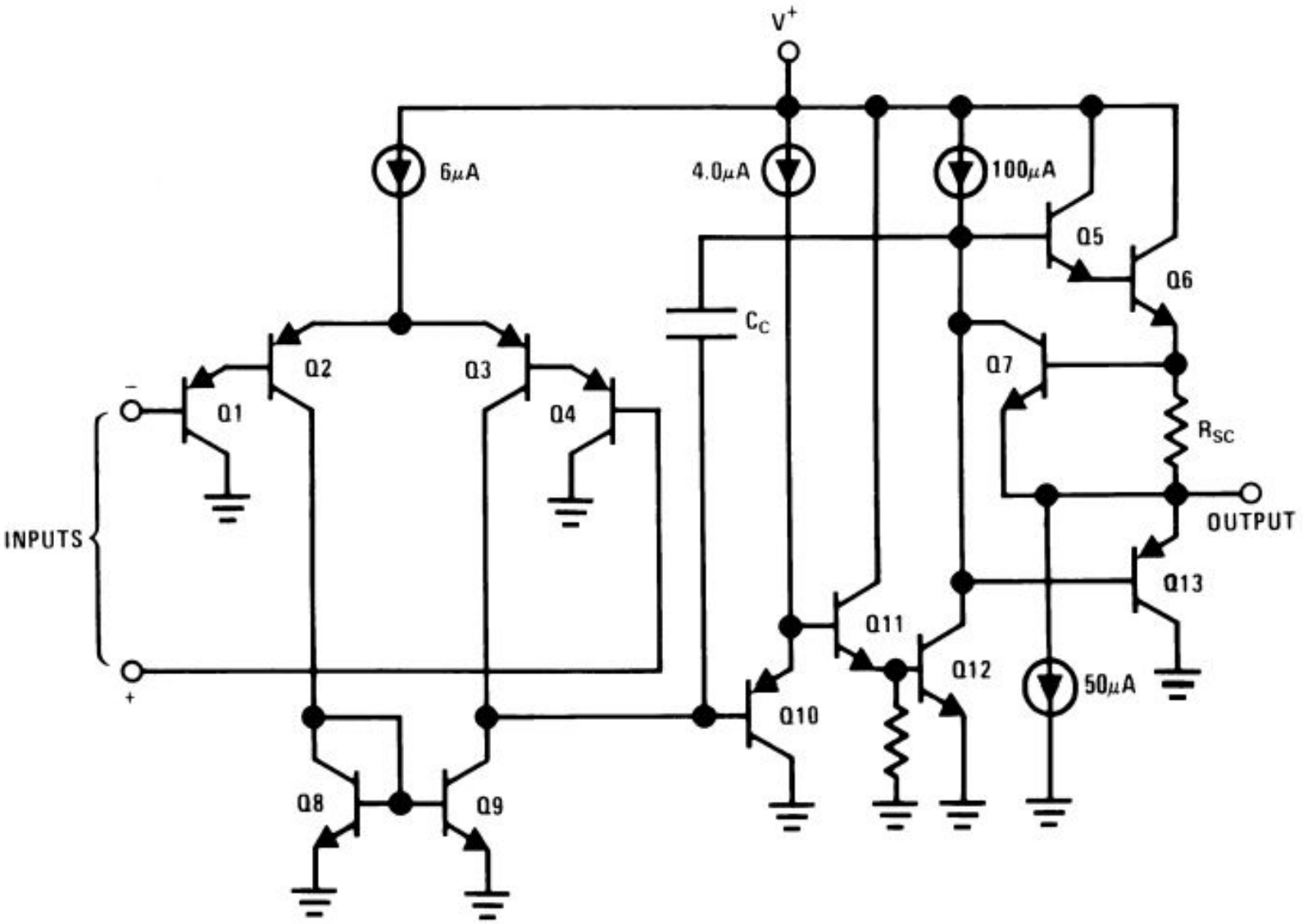




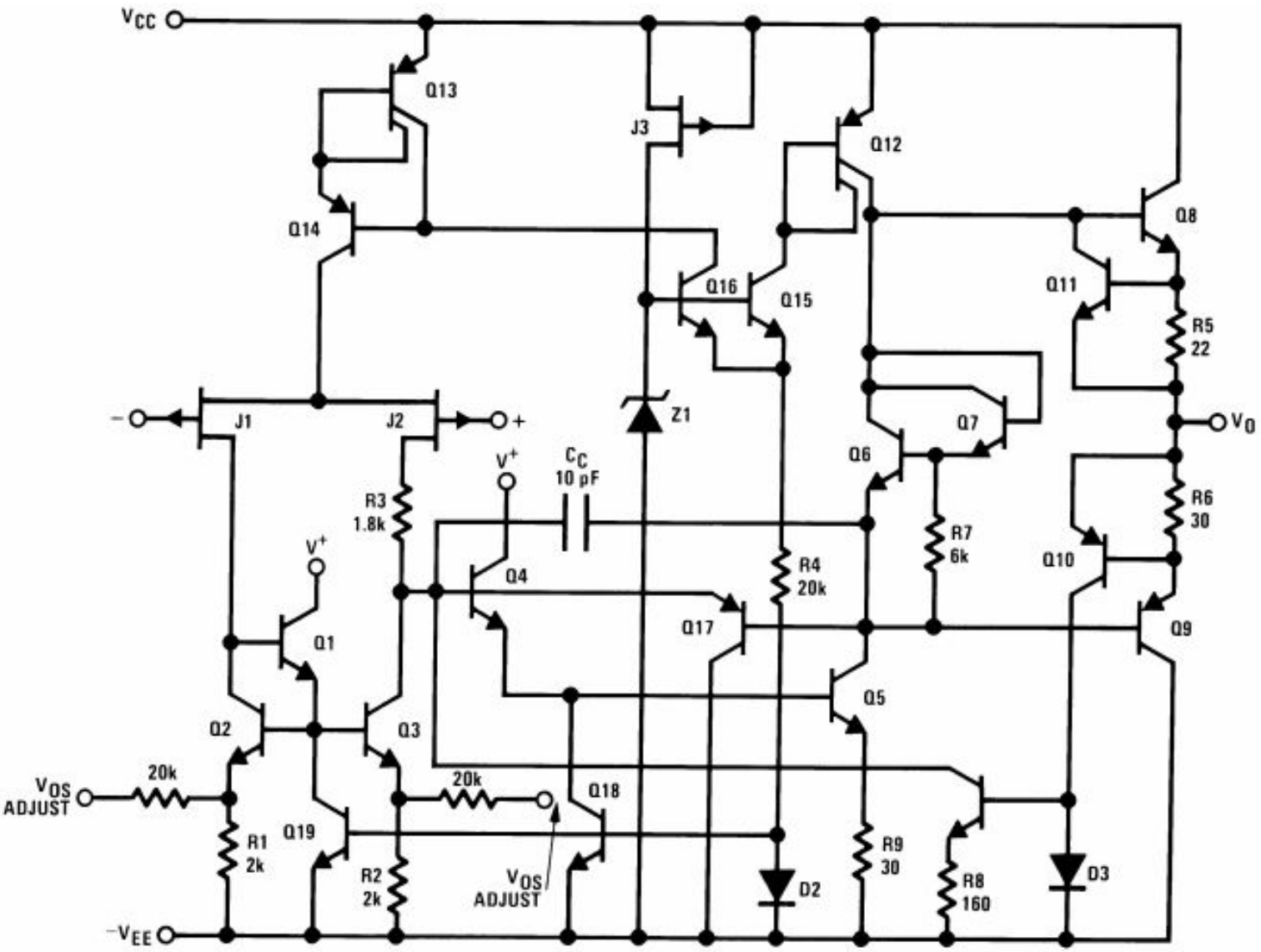
LM741


Неинвертирующий вход
3
Инвертирующий вход
2
1
Уст. нуля
5
Уст. нуля
7
Vs+
6
Выход
Vs-
4
Q1
Q2
Q3
Q4
Q5
Q6
Q7
Q8
Q9
Q10
Q11
Q12
Q13
Q14
Q15
Q16
Q17
Q19
Q20
Q22
1K
50K
1K
5K
39K
30 pF
4,5K
7,5K
25
50
50K
50

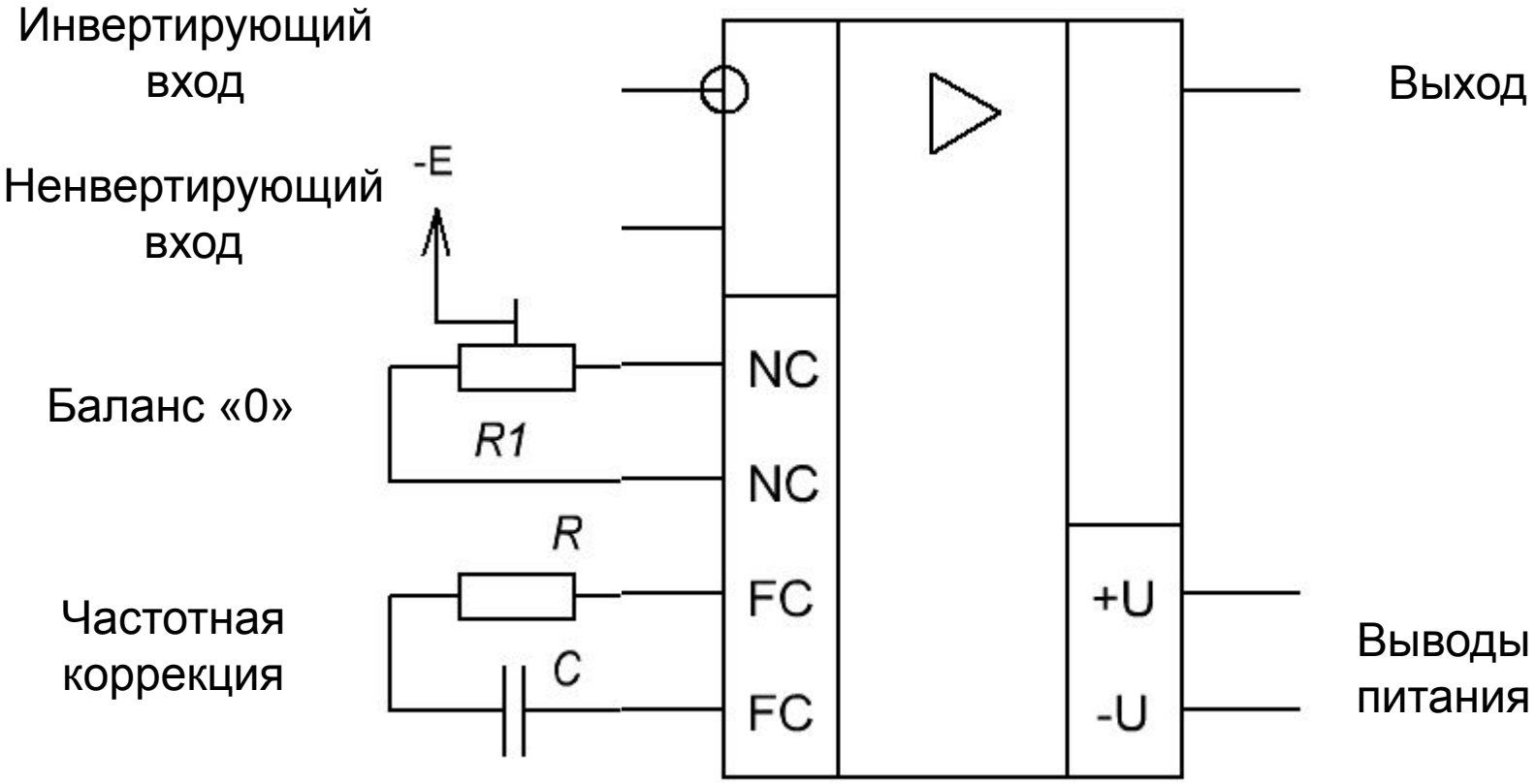
LM358


V+
6μA
4.0μA
100μA
Q5
Q6
CC
Q2
Q3
Q7
Q1
Q4
RSC
INPUTS
OUTPUT
Q13
Q11
Q12
50μA
Q10
Q8
Q9

LF411


VCC
Q13
J3
Q12
Q14
Q8
Q16
Q15
Q11
R5
22
J1
J2
Z1
Q7
VO
V+
CC
10 pF
Q6
R3
1.8k
R6
30
R7
6k
Q10
R4
20k
Q4
Q17
Q9
Q1
Q5
Q2
Q3
20k
20k
VOS
ADJUST
Q18
R1
2k
Q19
R2
2k
VOS
ADJUST
D2
R9
30
R8
160
D3
-VEE

Обозначение ОУ



К544УД2