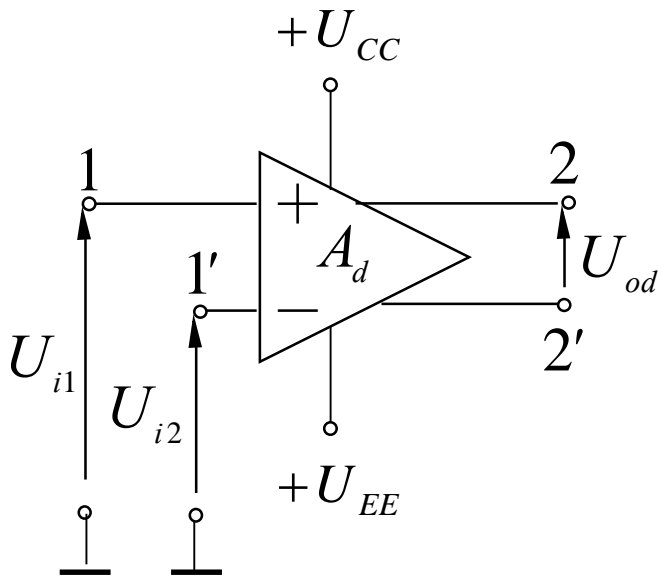


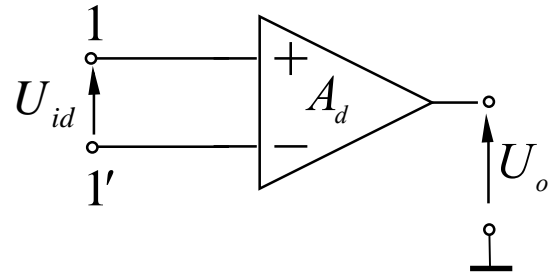
Диференциални усилватели

Диференциалният усилвател (ДУ) е специален вид усилвател, който усилва разликата между два сигнала, подавани на неговите входове, и не усилва (силно потиска) синфазни (еднакви по стойност и фаза) сигнали.

Символно означение

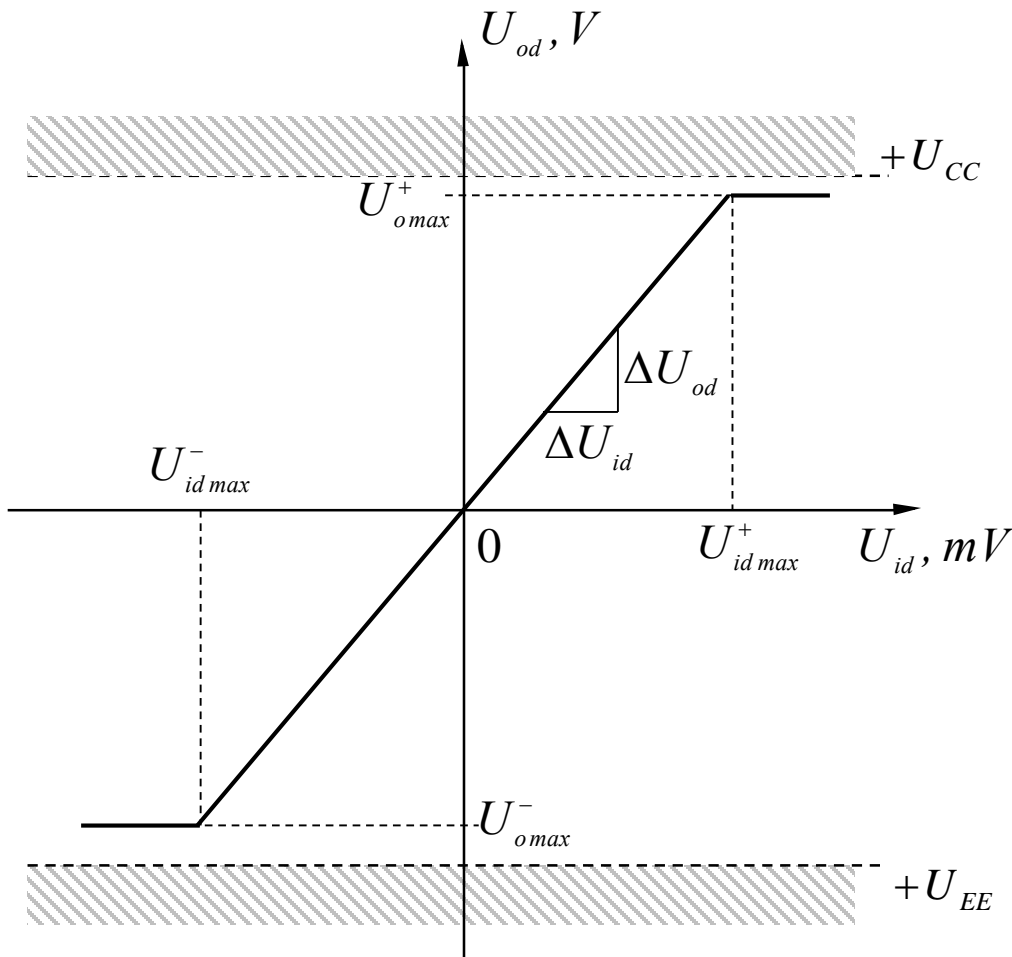


ДУ с несиметричен изход



$$U_o = A_d (U_{i1} - U_{i2}) = A_d \cdot U_{id}$$

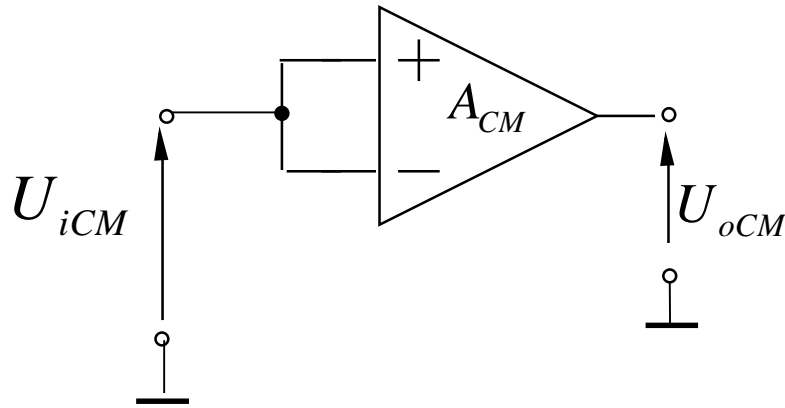
A_d - Коефициент на усилване за диференциалните сигнали



$$A_d = \frac{\Delta U_{od}}{\Delta U_{id}}$$

Диференциални усилватели

ДУ при синфазен входен сигнал



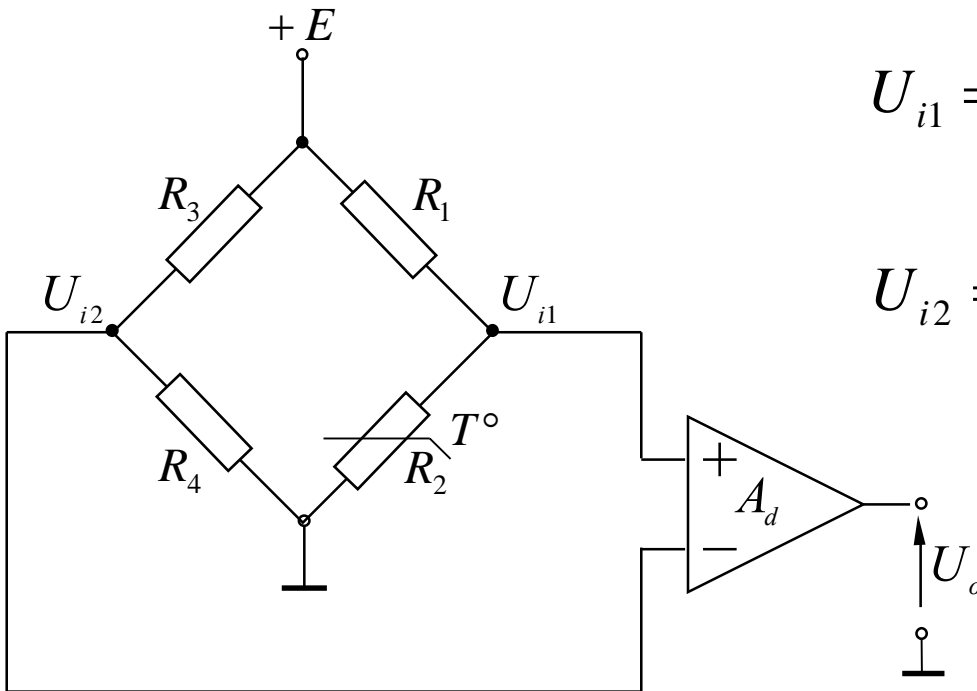
$$A_{CM} = \frac{U_{oCM}}{U_{i1} + U_{i2}} = \frac{U_{oCM}}{U_{iCM}}$$

$$U_{iCM} = \frac{U_{i1} + U_{i2}}{2}$$

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{CM}}$$

-Коефициент на потискане на синфазните сигнали

Електронен термометър с мост на Уитстоун (пример за използване на ДУ)



$$U_{i1} = \frac{R_2(T)}{R_1 + R_2(T)} E$$

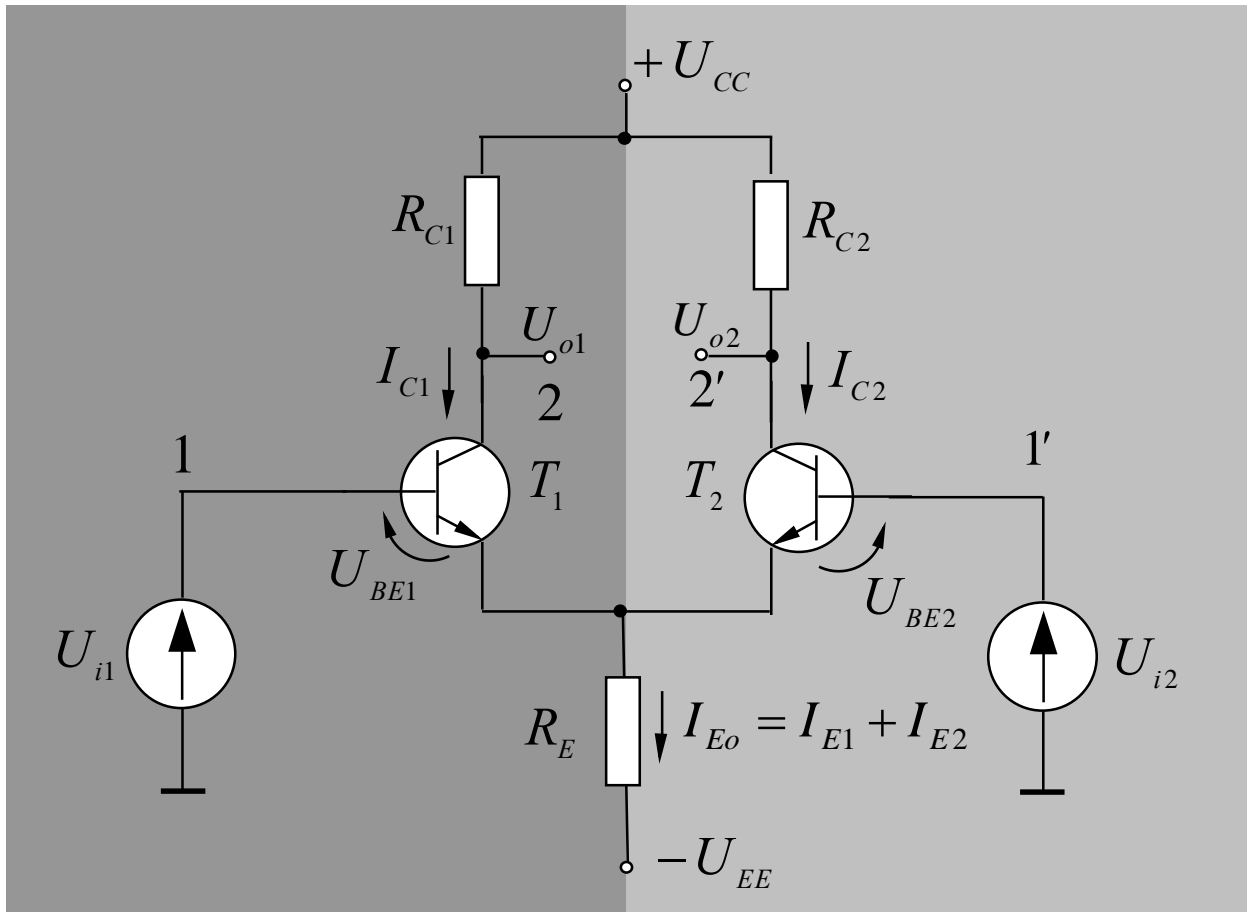
$$U_{i2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} E$$

При $T = T_0$; $U_{id} = 0V$ или $\frac{R_2(T)}{R_1 + R_2(T)} = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$

При $T \neq T_0$; $U_{id} \neq 0V$

Основна схема на диференциален усилвател

Анализ в режим на покой $U_{i1} = U_{i2} = 0V$



$$U_{EE} = U_{BE1} + I_{EO}R_E; \quad U_{EE} = U_{BE2} + I_{EO}R_E$$

$$U_{o1} = U_{CC} - I_{C1}R_{C1}; \quad U_{o2} = U_{CC} - I_{C2}R_{C2}$$

При $T_1 \equiv T_2$; $I_{C1} = I_{C2} = I_C$ и $R_{C1} = R_{C2} = R_C$

$$I_{EO} \approx 2I_C$$

$$I_C = \frac{U_{EE} - U_{BE}}{2R_E} \approx \frac{U_{EE} - 0,6V}{2R_E}$$

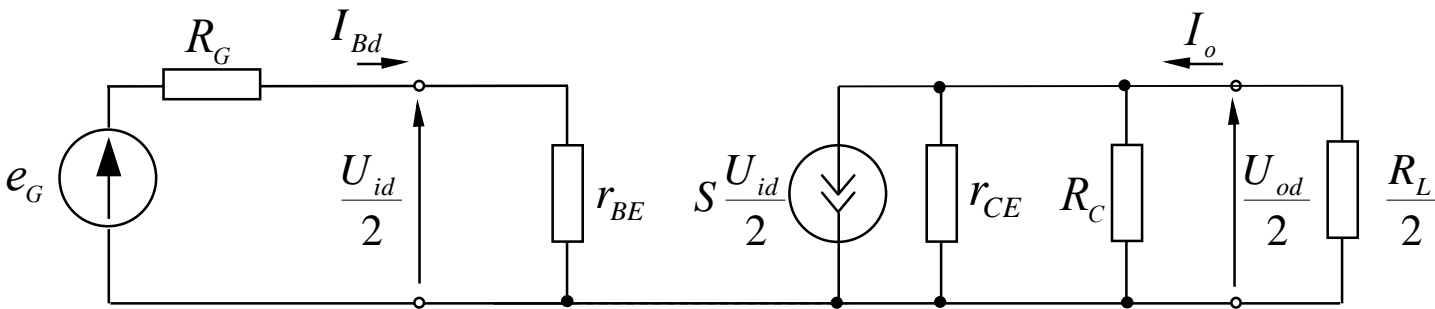
$$U_{o1} = U_{o2}; \quad U_{od} = U_{o1} - U_{o2} = 0V$$

Основна схема на диференциален усилвател

Анализ при диференциален входен сигнал

$$U_{i1} = -U_{i2} = \frac{U_{id}}{2}; \quad U_{iCM} = U_{oCM} = 0V$$

Еквивалентна схема на едното рамо на ДУ



Коефициент на усилване на диференциалните сигнали

$$\frac{U_{od}}{2} = -S \frac{U_{id}}{2} \left(r_{CE} \parallel R_C \parallel \frac{R_L}{2} \right); \quad A_d = -S \left(r_{CE} \parallel R_C \parallel \frac{R_L}{2} \right)$$

При отчитане на R_G

$$A_{d,R_L} = \underbrace{\frac{U_{od}}{U_{id}}}_{A_d} \cdot \underbrace{\frac{U_{id}}{e_G}}_{Kin} = -S \left(r_{CE} \parallel R_C \parallel \frac{R_L}{2} \right) \cdot \underbrace{\frac{r_{BE}}{r_{BE} + R_G}}_{Kin}$$

Входно и изходно съпротивление на схемата

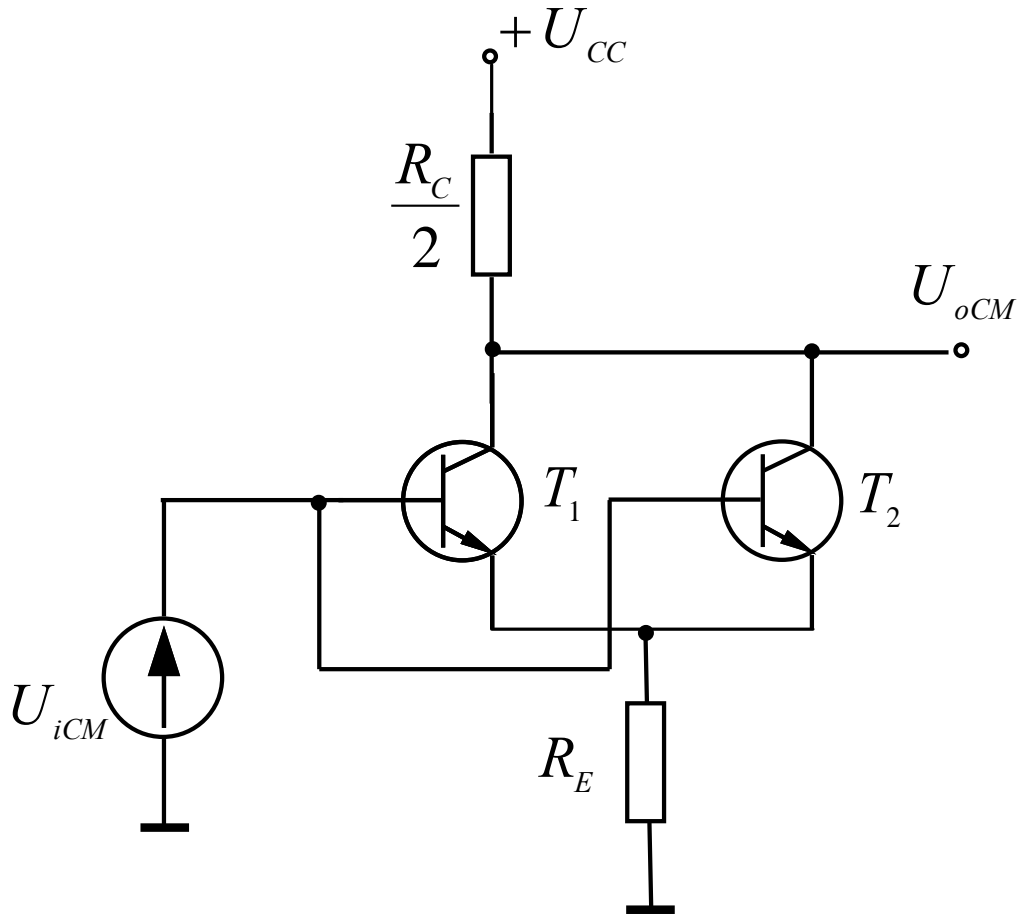
$$R_{iA} = \frac{U_{id}}{I_{Bd}} = 2r_{BE}; \quad R_{oA} = \frac{U_{od}}{I_o} = 2(r_{CE} \parallel R_C) \approx 2R_C$$

Основна схема на диференциален усилвател

Анализ при синфазен входен сигнал

$$U_{id} = U_{od} = 0V ; \quad U_{i1} = U_{i2} = U_{iCM}$$

Еквивалентна схема ДУ при синфазен входен сигнал

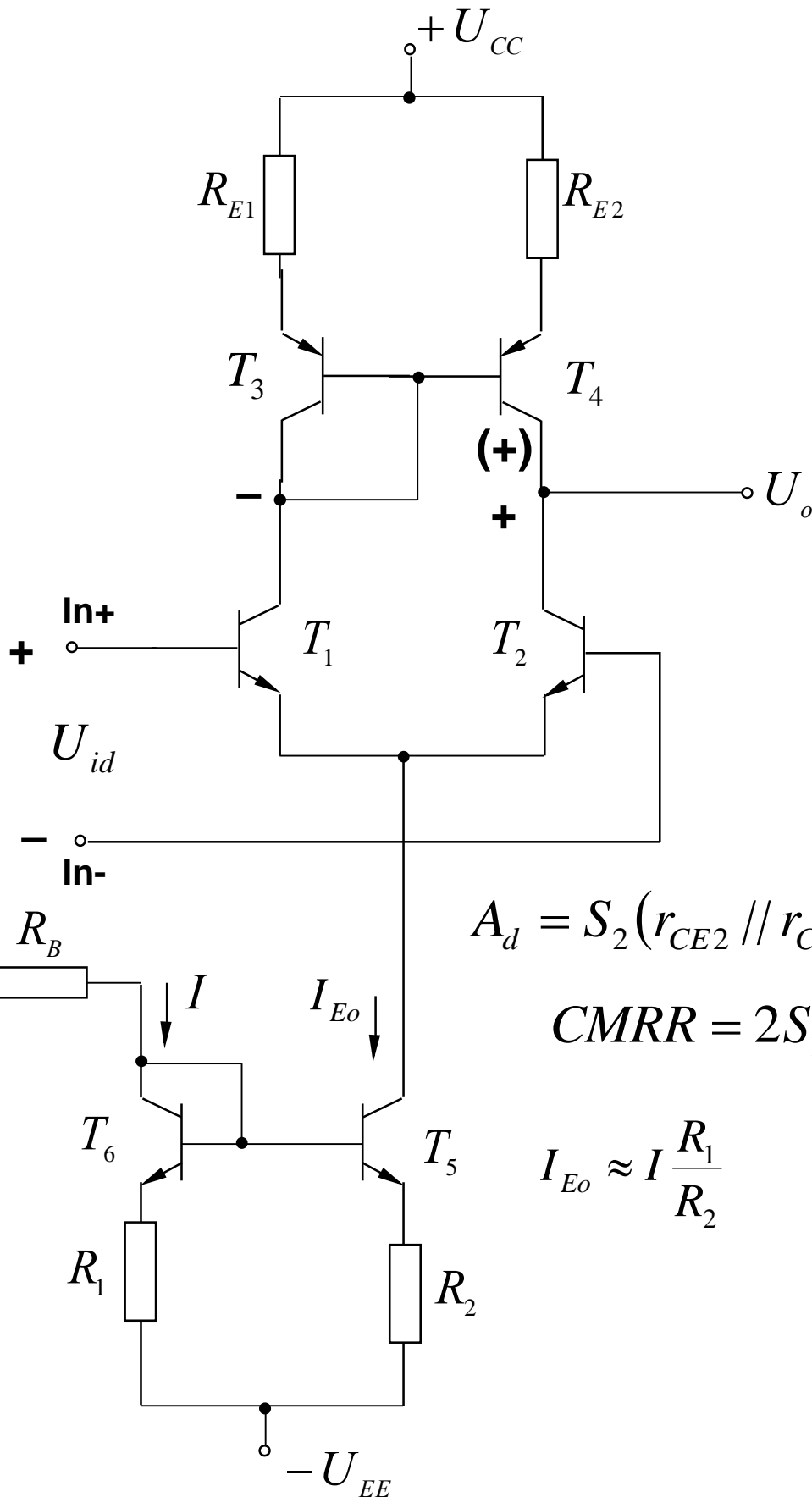


$$A_{CM} = \frac{U_{oCM}}{U_{iCM}} = \frac{-\frac{R_C}{2} i_c}{u_{BE} + (1 + \beta) R_E i_B} \approx -\frac{SR_C}{2(1 + SR_E)} \approx -\frac{R_C}{2R_E},$$

където $SR_E \gg 1$

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{CM}} = 2SR_E$$

Диференциален усилвател с несиметричен изход и активен товар, поляризиран с генератор на ток



$$A_d = S_2 (r_{CE2} \parallel r_{CE4} (1 + S_2 R_{E2}))$$

$$CMRR = 2S_1 r_{CE5} (1 + S_5 R_2)$$

$$I_{Eo} \approx I \frac{R_1}{R_2}$$