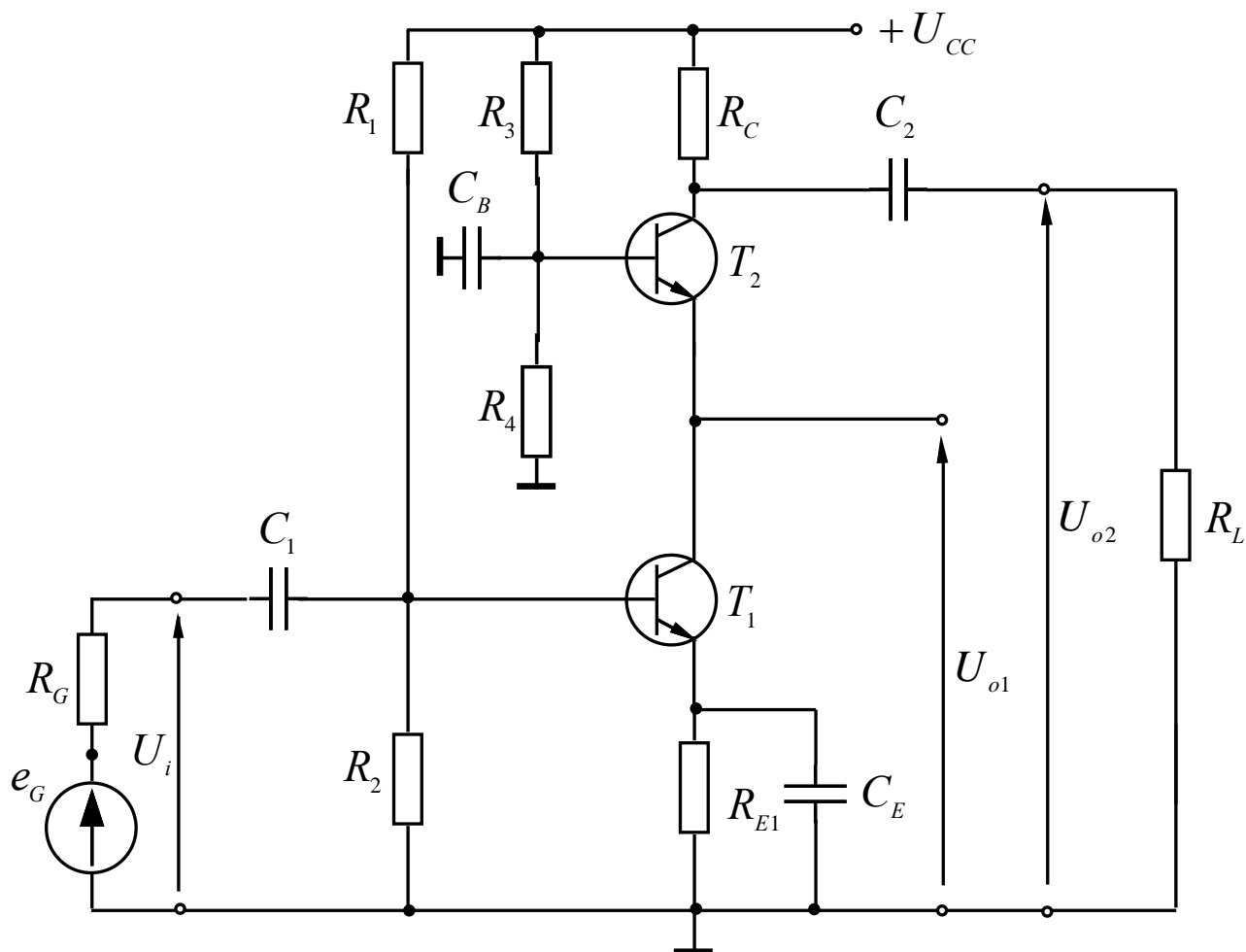


Стъпала с динамичен товар. Каскодни усилватели и повторители

Каскодните усилватели са аналогови електронни схеми, в които активните елементи (биполярни или полеви транзистори) са свързани последователно по постоянен ток и верижно (каскадно) по променлив ток.

Каскод ОЕ-ОБ



Коефициент на усилване по напрежение

$$A_{U1} = \frac{U_{o1}}{U_i} \approx -S_1 R_{L1} \approx -S_1 \frac{1}{S_2} \approx -1, \text{ където } R_{L1} \approx R_{iAT_2} \approx \frac{1}{S_2}$$

$$A_{U2} = \frac{U_{o2}}{U_{o1}} \approx S_2 (R_C // R_L)$$

$$A_U = \frac{U_{o2}}{U_i} = \underbrace{\frac{U_{o1}}{U_i}}_{A_{U1}} \cdot \underbrace{\frac{U_{o2}}{U_{o1}}}_{A_{U2}} = A_{U1} \cdot A_{U2} \approx -S_2 (R_C // R_L)$$

Входно и изходно съпротивление на каскода ОЕ-ОБ

$$R_{iA} \approx r_{BE1} // R_1 // R_2 \approx r_{BE1}$$

$$R_{oA} \approx R_C // r_{CE2} \approx R_C$$

Входен капацитет на каскода ОЕ-ОБ

$$C_{iA} = C_{B'E} + (1 + |A_{U1}|)C_{B'C} \approx C_{B'E} + 2C_{B'C}; \quad A_{U1} \approx -1$$

Тогава

$$f_{h_i(OE-OB)} = \frac{1}{2\pi C_{iA} (R_{iA} // R_G)} = \frac{1}{2\pi (C_{B'E} + 2C_{B'C}) (R_{iA} // R_G)}$$

За стъпало с ОЕ високата гранична честота е:

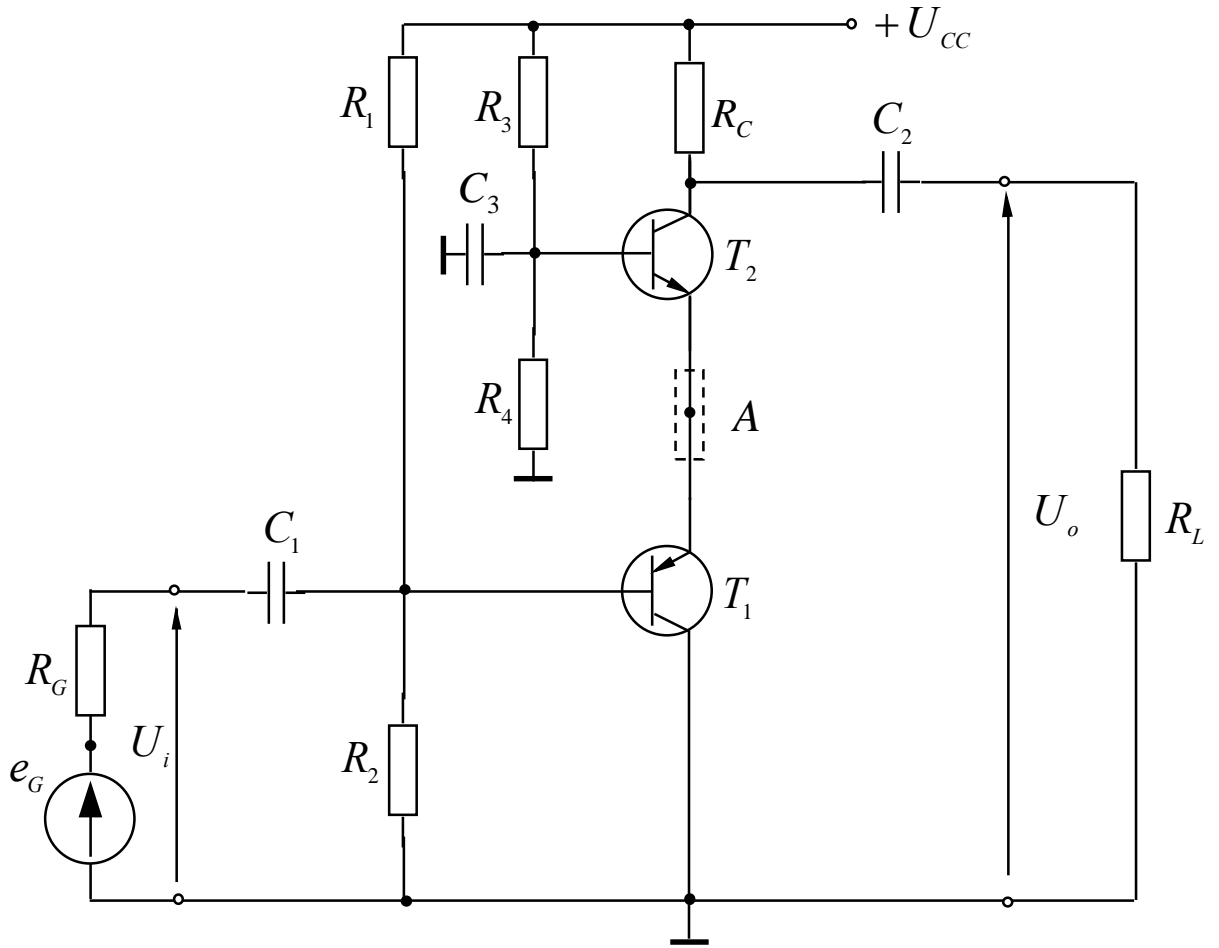
$$f_{h_i(OE)} = \frac{1}{2\pi C_{iA} (R_{iA} // R_G)} = \frac{1}{2\pi (C_{B'E} + C_{B'C} (1 + |A_U|)) (R_{iA} // R_G)}$$

Тъй като за стъпало с ОЕ коефициентът $|A_U| > 1$,

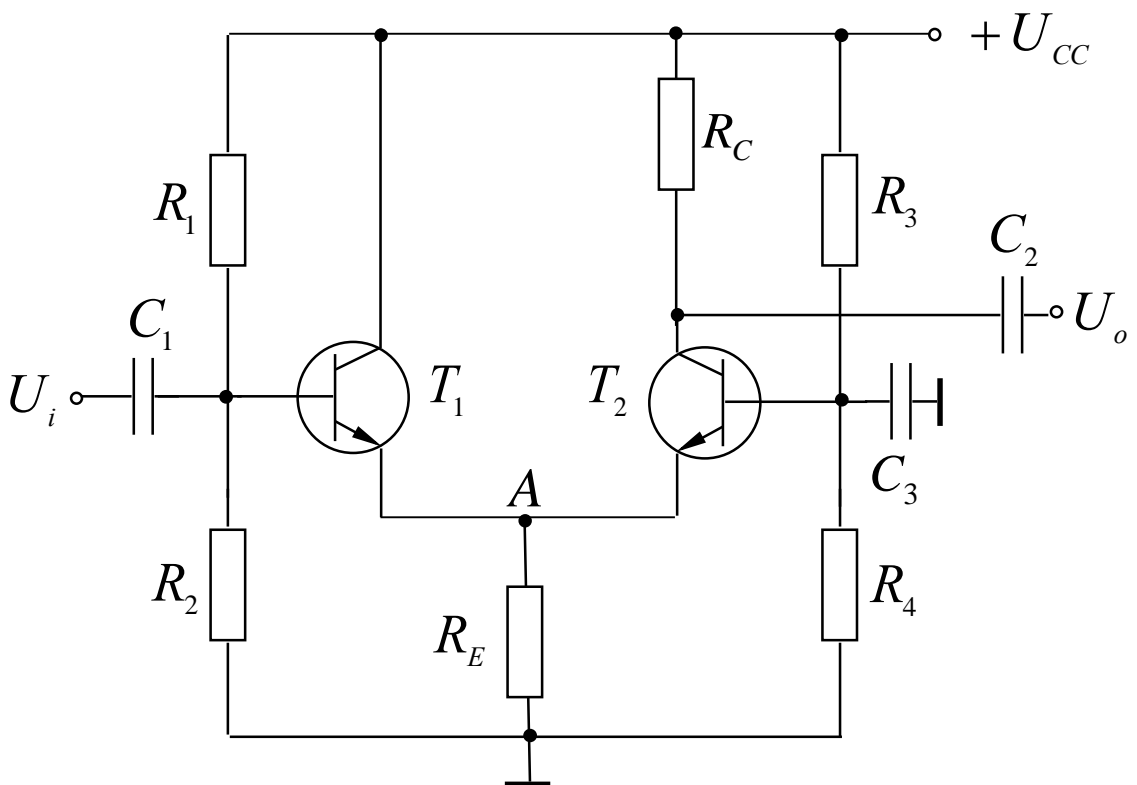
следва че $f_{h_i(OE-OB)} \gg f_{h_i(OE)}$, ако каскодът ОЕ-ОБ и стъпалото с ОЕ са реализирани с един и същи транзистор и при еднакъв постоянен ток режим.

Каскод ОК-ОБ

Каскод ОК-ОБ с последователно захранване по постоянен ток
(усилвател с емитерна връзка)



Каскод ОК-ОБ с паралелно захранване по постоянен ток



Коефициент на усилване по напрежение на каскода ОК-ОБ

$$A_{U1} = \frac{U_A}{U_i} \approx \frac{S_1 R_{L1}}{1 + S_1 R_{L1}} \approx \frac{S_1 / S_2}{1 + S_1 / S_2} \approx \frac{1}{2},$$

където $R_{L1} \approx R_{iAT_2} \approx \frac{1}{S_2}$ и при $S_1 \approx S_2$.

$$A_{U2} = \frac{U_o}{U_A} \approx S_2 (R_C // R_L)$$

$$A_U = \frac{U_o}{U_i} = \underbrace{\frac{U_A}{U_i}}_{A_{U1}} \cdot \underbrace{\frac{U_o}{U_A}}_{A_{U2}} = A_{U1} \cdot A_{U2} \approx \frac{1}{2} S_2 (R_C // R_L)$$

Входно и изходно съпротивление на каскода ОК-ОБ

$$R_{iA} \approx \left[r_{BE1} + (1 + \beta_1) \frac{1}{S_2} \right] // R_1 // R_2 \approx r_{BE1} + (1 + \beta_1) \frac{1}{S_2} \approx 2r_{BE1}$$

където $r_{BE1} = \frac{\beta_1}{S_1} \approx \frac{\beta_1}{S_2}$ при $S_1 \approx S_2$

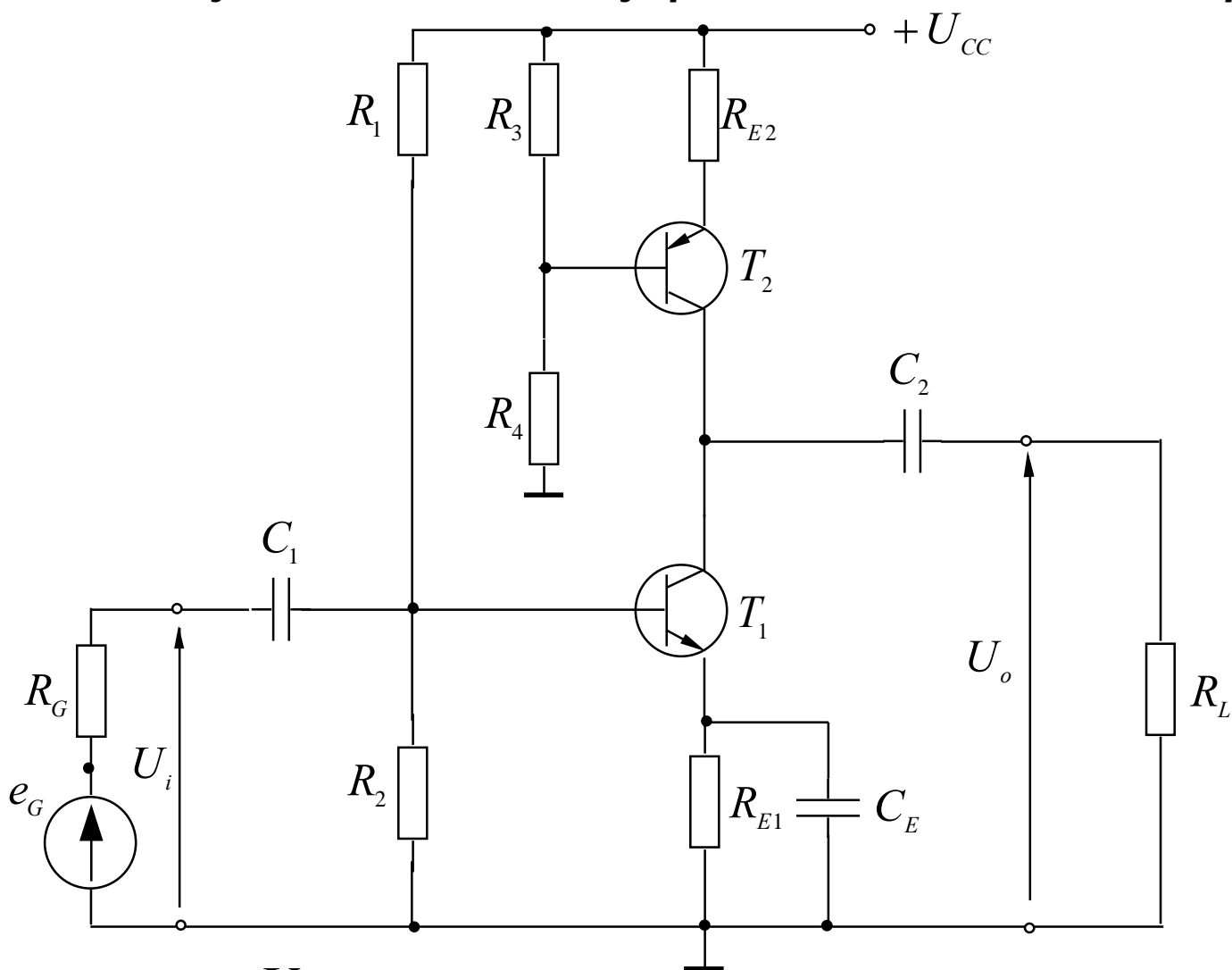
$$R_{oA} \approx R_C // r_{CE2} \approx R_C$$

Входен капацитет на каскода ОК-ОБ

$$C_{iA} = C_{B'C} + (1 - A_{U1}) C_{B'E} \approx C_{B'C} + \frac{1}{2} C_{B'E}; \quad A_{U1} \approx \frac{1}{2}$$

Каскодни усилватели с динамичен товар

Каскоден усилвател ОЕ с неуправляем динамичен товар



$$R_{o,DC} = \frac{U_{CE2}}{I_{C2}} + R_{E2}; \quad R_o = r_{CE2} (1 + S_2 R_{E2})$$

Коефициент на усилване по напрежение

$$A_U = \frac{U_o}{U_i} = -S_2 R'_L = -S_2 (r_{CE1} // r_{CE2} (1 + S_2 R_{E2}) // R_L) \gg 1$$

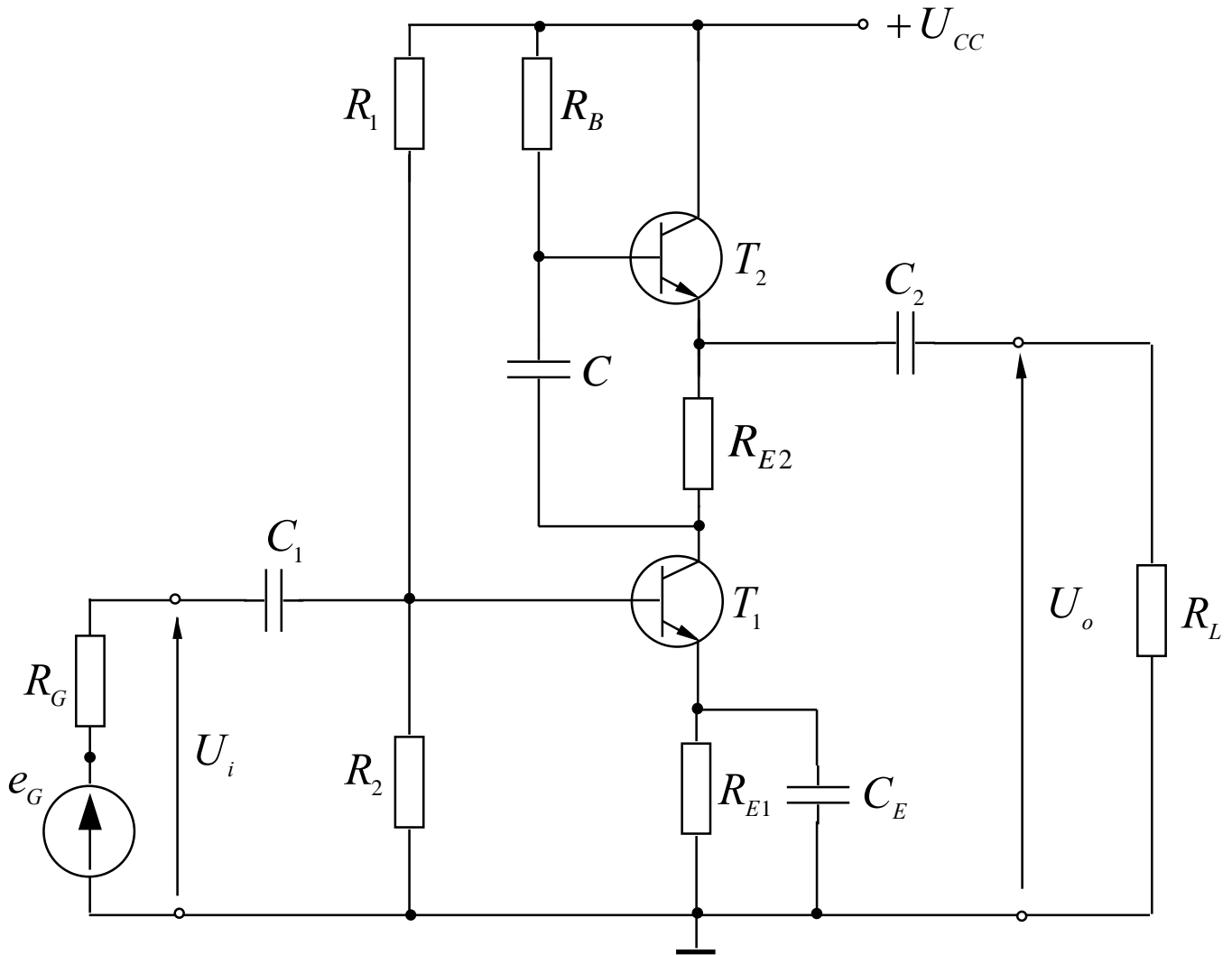
където $R'_L = (r_{CE1} // r_{CE2} (1 + S_2 R_{E2}) // R_L)$

Входен капацитет на каскода

$$C_{iA} = C_{B'E} + \left(1 + |A_{U(\text{каскодсOE})}|\right) C_{B'C}; \quad f_{h_i(\text{каскодсOE})} \ll f_{h_i(\text{OE})}$$

$$(A_{U(\text{каскодсOE})} \gg A_{U(\text{OE})})$$

**Каскоден усилвател ОЕ с управляем динамичен товар
(каскод ОЕ-ОК)**



Динамично съпротивление е входното съпротивление на T_2

$$R_{\partial} = R_B \parallel R_{iAT_2} \approx R_B \parallel r_{BE2} (1 + S_2 R_{E2}) \approx R_B \parallel \beta_2 R_{E2}$$

Коефициент на усилване по напрежение

$$A_U = \frac{U_o}{U_i} = -S_1 R'_L = -S_1 (R_L \parallel R_B \parallel \beta_2 R_{E2}) \gg 1,$$

където $R'_L = R_L \parallel R_B \parallel \beta_2 R_{E2}$

Изходно съпротивление

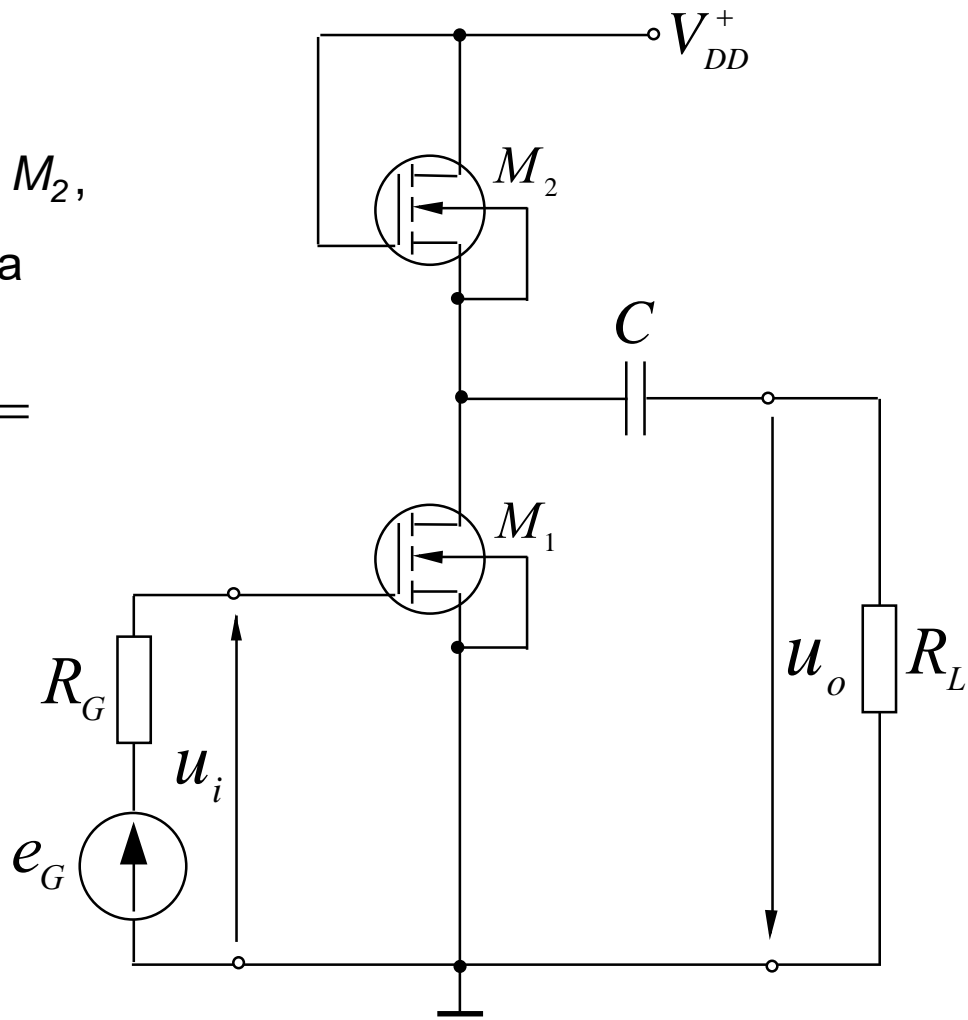
$$R_{oA} = R_{E2} \parallel \frac{1}{S_2} \approx \frac{1}{S_2}$$

Усилвател общ сорс с динамичен товар

За транзистора M_2 ,
 $U_{DS} = U_{GS}$, тогава

$$r_{\partial 2} = r_{DS2} = \frac{dU_{DS2}}{dI_{D2}} =$$

$$= \frac{dU_{GS2}}{dI_{D2}} \approx \frac{1}{S_2}$$



Коефициент на усилване по напрежение от формулата за

ОС е: $A_U = \frac{U_o}{U_i} = -S_1 r_{\partial 2} \approx -\frac{S_1}{S_2}$ за $R_L \rightarrow \infty$;

$$I_{D1} = k_1 (U_{GS1} - U_{TH1})^2; \quad I_{D2} = k_2 (U_{GS2} - U_{TH2})^2$$

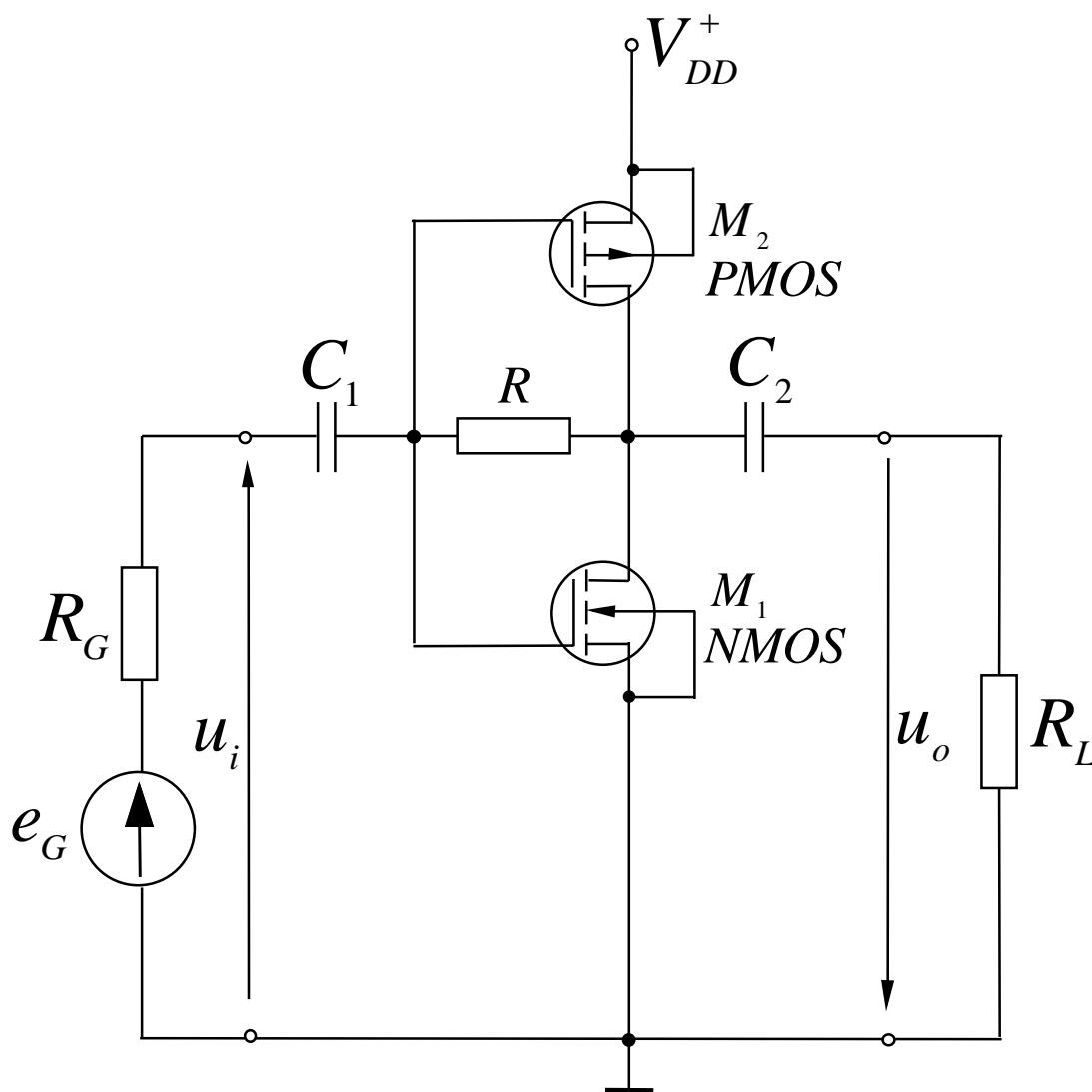
$$S_1 = 2k_1 (U_{GS1} - U_{TH1}) = 2\sqrt{k_1 I_{D1}}; \quad S_2 = 2k_2 (U_{GS2} - U_{TH2}) = 2\sqrt{k_2 I_{D2}}$$

$$k_1 = \frac{\mu_1 C_{ox} W_1}{2L_1} \quad \text{и} \quad k_2 = \frac{\mu_2 C_{ox} W_2}{2L_2}$$

$$A_U = \frac{U_o}{U_i} \approx -\frac{S_1}{S_2} \approx -\sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \approx -\sqrt{\frac{W_1 L_2}{W_2 L_1}}$$

W_1, W_2 - ширина на каналите
 L_1, L_2 - дължина на каналите

Усилвател с динамичен товар с комплементарни MOS транзистори (Complementary MOS – CMOS)



За M_1 и M_2 $U_{DS} = U_{GS}$, това означава, че транзисторите са поляризирани в пентоден режим, понеже е изпълнено условието:

$$|U_{DS}| > |U_{GS}| - |U_{Th}| \text{ или } |U_{Th}| > 0V.$$

При условие, че транзисторите са свързани паралелно по променлив ток за коефициента на усилване се получава:

$$A_U = \frac{u_o}{u_i} = -(S_1 + S_2)(r_{DS1} \parallel r_{DS2}) \quad \text{за } R_L \rightarrow \infty$$

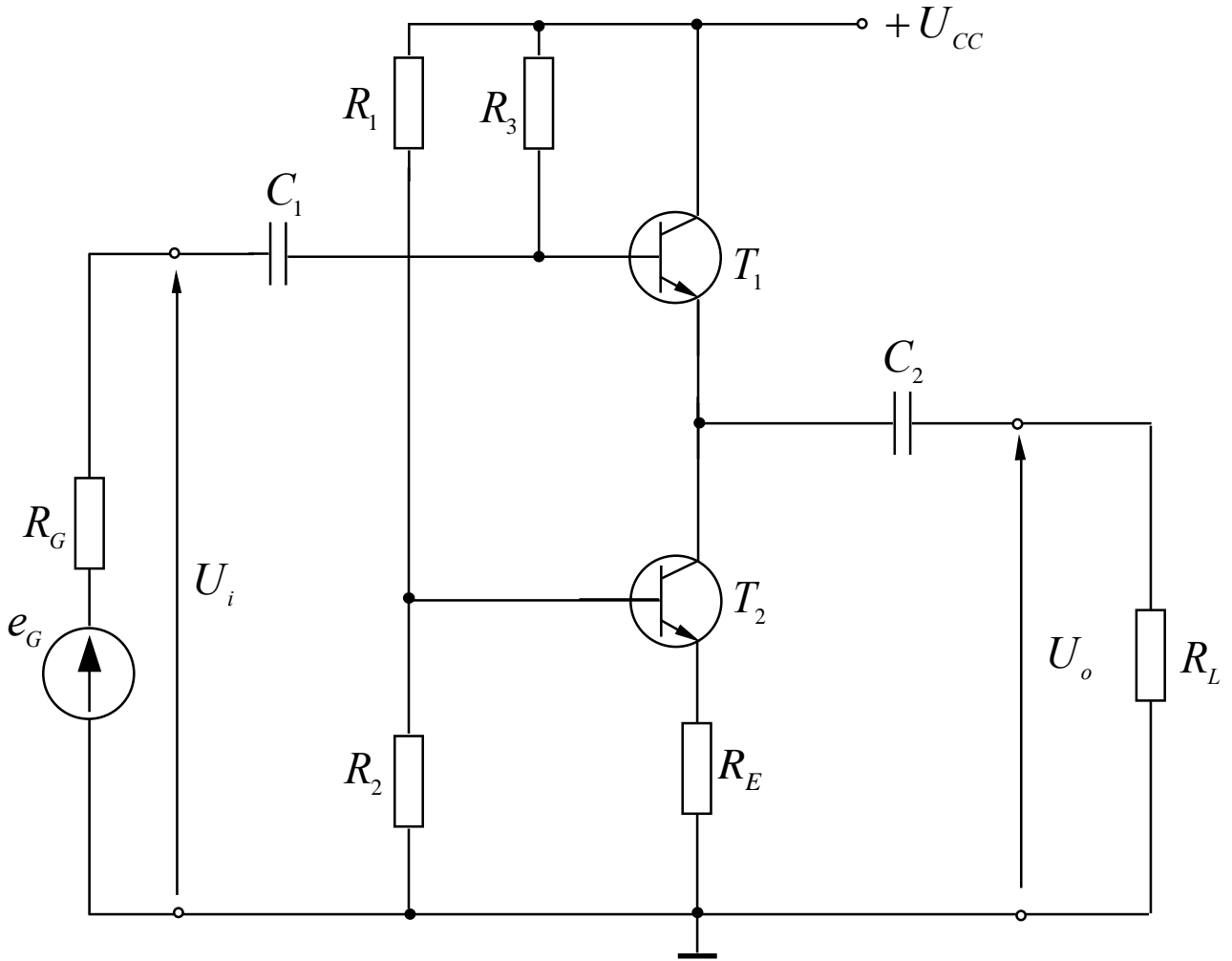
Входно съпротивление

$$R_{iA} \approx R$$

Изходно съпротивление

$$R_{oA} = r_{DS1} \parallel r_{DS2}$$

Каскоден емитерен повторител с динамичен товар



Коефициент на усилване по напрежение

$$A_U = \frac{U_o}{U_i} \approx \frac{S_1 R_\partial}{1 + S_1 R_\partial} \approx 1, \text{ където } R_\partial = r_{CE2} (1 + S_2 R_E)$$

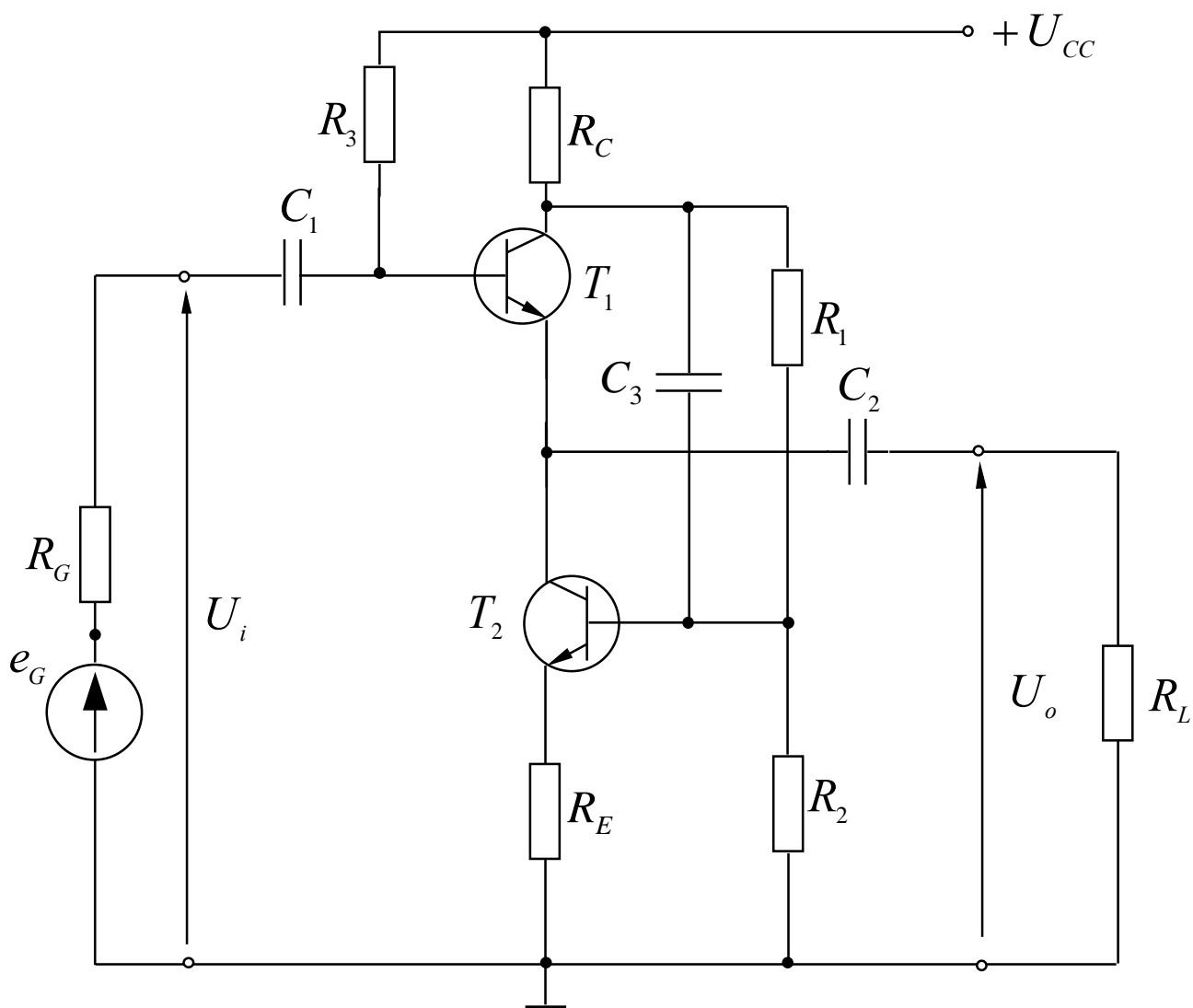
Входно съпротивление

$$R_{iA} = R_3 // R_\partial \approx R_3 // r_{CE2} (1 + S_2 R_E) \quad (R_L \rightarrow \infty)$$

Изходно съпротивление

$$R_{oA} = R_\partial // \frac{1}{S_1} \approx \frac{1}{S_1}$$

Каскоден емитерен повторител с управляем динамичен товар или каскод на Уайт



Коефициент на усилване по напрежение

$$A_{F(-)} = \frac{A_U}{1 + \beta^- A_U}. \text{ При } \beta^- \approx 1 \text{ и } A_U \gg 1, A_{F(-)} \approx 1$$

Входно и изходно съпротивление

$$R_{iA} = R_3 // R_{\theta} \approx R_3 // r_{CE2} (1 + S_2 R_E) \quad (R_L \rightarrow \infty)$$

$$R_{oA} \approx \frac{1}{S_1 S_2 R_C}$$

Входен капацитет

$$C_{iA} = C'_{B'C} + C'_{B'E} (1 - A_{F(-)}) \approx C'_{B'C}; \quad A_{F(-)} \approx 1$$