

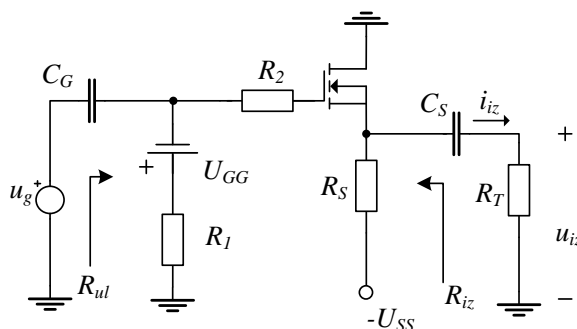
ZAVRŠNI ISPIT IZ ELEKTRONIKE 1

ZADACI

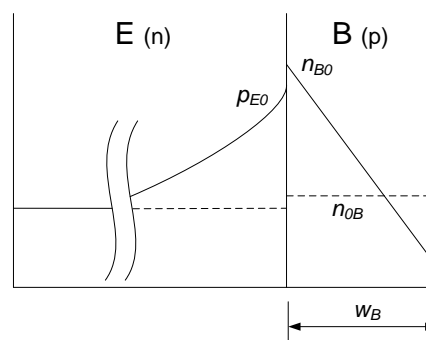
ZADATAK 1. Za pojačalo na slici zadano je:

$U_{SS} = 12 \text{ V}$, $U_{GG} = 8 \text{ V}$, $R_S = 2 \text{ k}\Omega$, $R_I = R_2 = 56 \text{ k}\Omega$, $R_T = 2 \text{ k}\Omega$. Parametri n -kanalnog MOSFET-a su: $K = 2 \text{ mA/V}^2$, $U_{GS0} = 1 \text{ V}$ i $\lambda = 0,005 \text{ V}^{-1}$.

- Odrediti statičku radnu točku tranzistora (I_{DQ} , U_{DSQ} , U_{GSQ}) te strminu i dinamički otpor u radnoj točki. Pri proračunu statičke radne točke zanemariti porast struje odvoda u području zasićenja (**3 boda**).
- Nacrtati nadomjesnu shemu za dinamičku analizu te izvesti izraze i izračunati naponsko pojačanje $A_{vg} = u_{iz}/u_g$ i strminsko pojačanje $G_{Mg} = i_{iz}/u_g$ (**3 boda**).
- Izračunati ulazni otpor R_{ul} i izlazni otpor R_{iz} (**2 boda**).



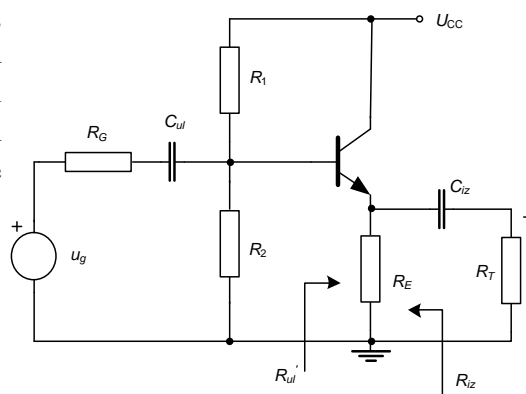
ZADATAK 2. Na slici je prikazana raspodjela manjinskih nosilaca bipolarnog npn tranzistora ($n_{B0} = 8 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $n_{0B} = 4 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$ i $p_{E0} = 2 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$). Pokretljivosti manjinskih nosilaca su $\mu_{pE} = 300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ i $\mu_{nB} = 450 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Efektivna širina baze je $1 \text{ }\mu\text{m}$. Širina baze je puno manje, a širina emitera puno veća od difuzijskih duljina manjinskih nosilaca ($L_{pE} = 15 \text{ }\mu\text{m}$). Vrijeme života elektrona u bazi $\tau_{nB} = 0,11 \text{ }\mu\text{s}$. Površina tranzistora je $0,15 \text{ mm}^2$. Pretpostaviti $T = 300 \text{ K}$ i $I_{CBO} \approx 0$.



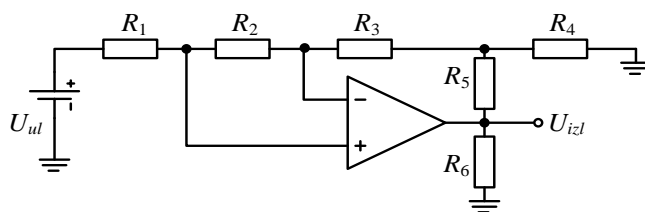
- Odrediti napon U_{BE} te koncentraciju primjesa u bazi i emiteru (**2 boda**).
- Izračunati sve komponente struja tranzistora i ukupne struje emitera, baze i kolektora (**5 bodova**).
- Izračunati faktor injekcije i transportni faktor, te faktore pojačanja α i β (**1 bod**).

ZADATAK 3. Za pojačalo sa slike zadano je $R_1 = 56 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 56 \text{ k}\Omega$, $R_E = 1,8 \text{ k}\Omega$, $R_T = 50 \text{ k}\Omega$, $R_G = 10 \text{ k}\Omega$. Napon napajanja $U_{CC} = 12 \text{ V}$. Parametri tranzistora su $\beta = h_{fe} = 100$ i $U_\gamma = 0,7 \text{ V}$. Zanemariti porast struje kolektora u normalnom aktivnom području. Naponski ekvivalent temperature je $U_T = 25 \text{ mV}$.

- Odrediti statičku radnu točku tranzistora i dinamički otpor r_{be} (**2 boda**).
- Nacrtati nadomjesnu shemu pojačala za dinamičku analizu. Izvesti izraze i odrediti ulazni otpor R_{ul}' , naponsko pojačanje $A_{vg} = u_{iz}/u_g$ (**4 boda**).
- Izvesti izraz i odrediti izlazni otpor pojačala R_{iz} (**2 boda**).



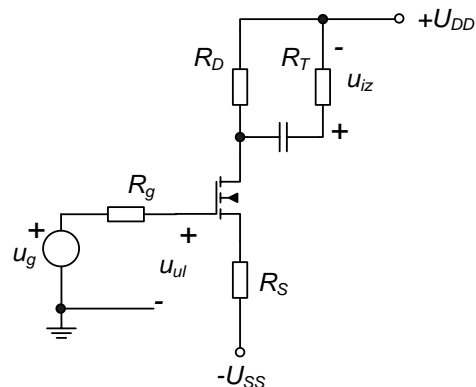
ZADATAK 4. Odrediti izlazni napon U_{IZL} za sklop na slici ako je ulazni napon $U_{UL} = 100 \text{ mV}$. Zadani su otpori $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 12 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 36 \text{ k}\Omega$ i $R_6 = 2 \text{ k}\Omega$. Operacijsko pojačalo ima beskonačan ulazni otpor, izlazni otpor jednak je nuli, a pojačanje pojačala A_{VOP} iznosi 10^4 . Pojačalo je spojeno je na napajanje -15 V i 15 V (**6 bodova**).



PITANJA

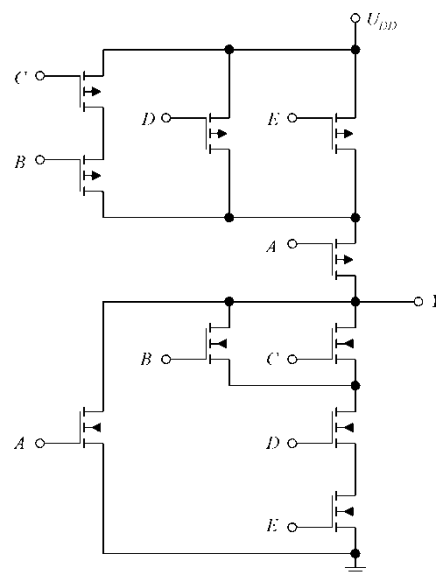
1. Koje pojačalo je prikazano na slici i koje tvrdnje su istinite? (**2 boda**)

- Spoj zajedničkog uvoda, radna točka je stabilizirana, u_{ul} i u_{iz} su u protufazi ✓
- Spoj zajedničkog odvoda, radna točka je stabilizirana, u_{ul} i u_{iz} su fazi
- Spoj zajedničkog uvoda, radna točka nije stabilizirana, u_{ul} i u_{iz} su u protufazi
- Spoj zajedničkog odvoda, radna točka je stabilizirana, u_{ul} i u_{iz} su u protufazi
- Spoj zajedničkog uvoda, radna točka nije stabilizirana, u_{ul} i u_{iz} su u fazi

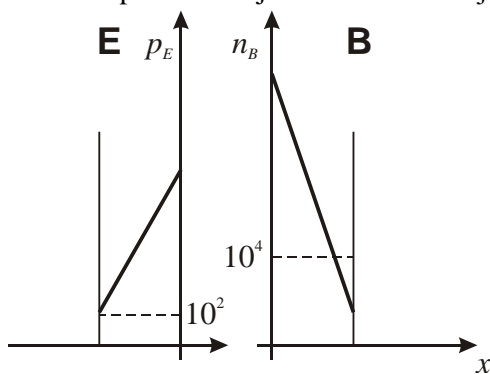


2. Koju logičku funkciju ostvaruje CMOS sklop na slici? (**2 boda**)

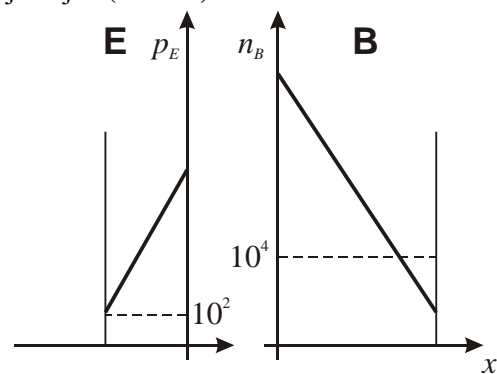
- $Y = A + (B + C)DE$
- niti jedan od odgovora
- $Y = A(BC + D + E)$
- $Y = A + (B + C)DE$ ✓
- $Y = A(BC + D + E)$



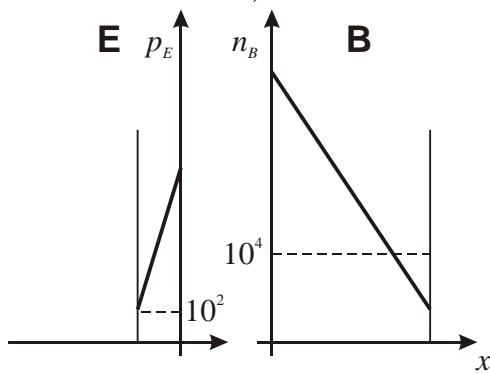
3. Na slikama su prikazane koncentracije manjinskih nosilaca u emiteru i bazi različitih tranzistora pri jednakim naponima. Koji tranzistor ima najveći faktor injekcije? (2 boda)



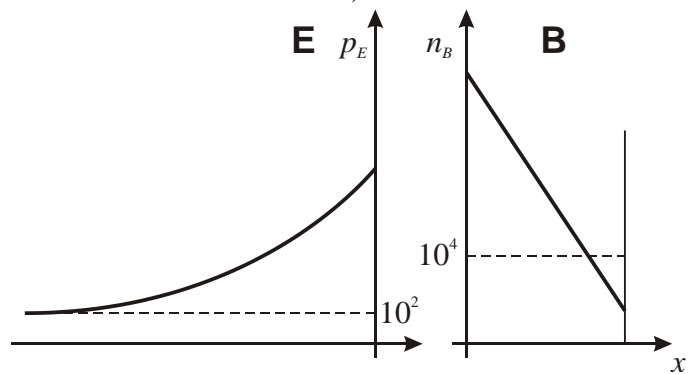
a)



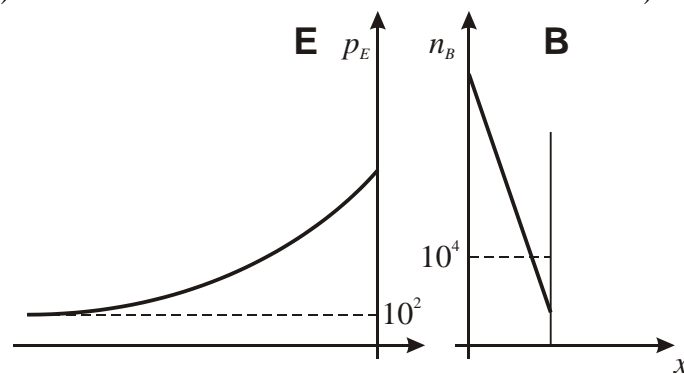
b)



c)



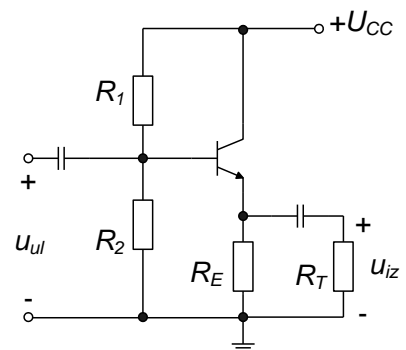
d)



e) ✓

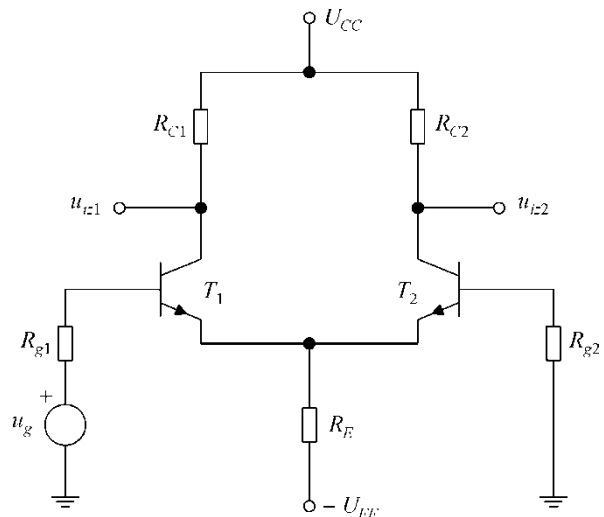
4. U kakvom su faznom odnosu signali u_{ul} i u_{iz} ? U kakvom su odnosu R_{ul} i R_{iz} ? (2 boda)

- a) u_{ul} i u_{iz} su u fazi; $R_{ul} = R_{iz}$.
- b) u_{ul} i u_{iz} su u fazi; $R_{ul} < R_{iz}$.
- c) u_{ul} i u_{iz} su u fazi; $R_{ul} > R_{iz}$. ✓
- d) u_{ul} i u_{iz} su u protufazi; $R_{ul} < R_{iz}$.
- e) u_{ul} i u_{iz} su u protufazi; $R_{ul} > R_{iz}$.



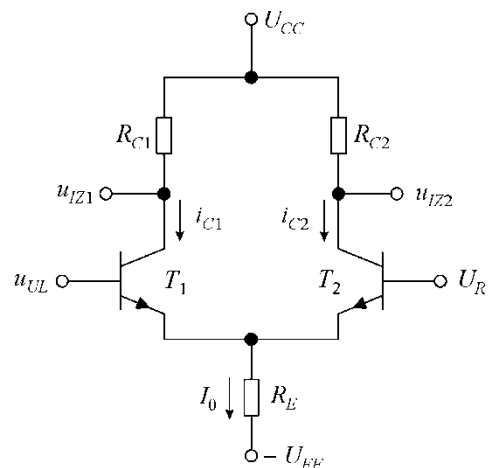
5. U pojačalu na slici napon $u_g = 10 \sin \omega t$ mV.
Koliki su zajednički i diferencijski napon pojačala?
(2 boda)

- a) $u_z = 10 \sin \omega t$ mV i $|u_d| = 5 \sin \omega t$ mV
- b) $u_z = 5 \sin \omega t$ mV i $|u_d| = 10 \sin \omega t$ mV ✓
- c) $u_z = 10 \sin \omega t$ mV i $|u_d| = 10 \sin \omega t$ mV
- d) $u_z = 20 \sin \omega t$ mV i $|u_d| = 10 \sin \omega t$ mV
- e) $u_z = 5 \sin \omega t$ mV i $|u_d| = 5 \sin \omega t$ mV



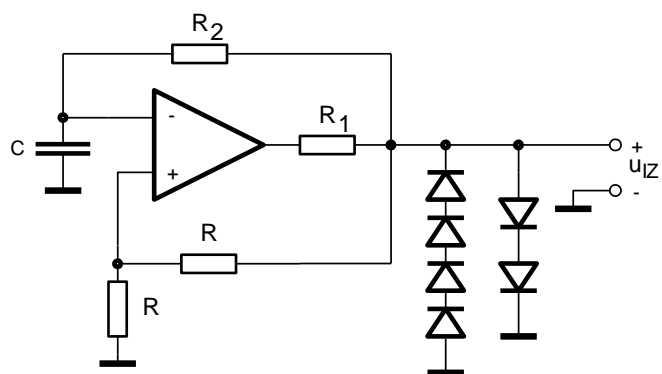
6. Za sklop na slici zadano je $U_{CC} = 0$ V, $U_{EE} = 5$ V, ulazni naponi logičkih 1 i 0 su $U_0 = -1,8$ V i $U_1 = -1$ V. Pri kojem naponu U_R sklop može raditi kao strujna sklopka? (2 boda)

- a) $U_R = -1$ V,
- b) $U_R = -1,4$ V, ✓
- c) $U_R = -1,8$ V,
- d) $U_R = -2,5$ V,
- e) $U_R = -3,4$ V.



7. Ako se kratko spoji jedna od četiri serijski spojene diode što će se dogoditi sa trajanjem periode negativnog izlaznog napona u_{iz} ?
(2 boda)

- a) povećat će se ✓
- b) smanjit će se 25 %
- c) ovisi o iznosu otpornika R_1
- d) ostat će nepromijenjena
- e) smanjit će se



RJEŠENJA ZADATAKA

ZADATAK 1:

a)

$$U_{SS} - U_{GG} = U_{GSQ} + I_{DQ} R_S = U_{GSQ} + \frac{K}{2} (U_{GSQ} - U_{GS0})^2 \cdot R_S$$

$$U_{GSQ}^2 - 1,5 U_{GSQ} - 2,5 = 0, \quad U_{GSQ1} = 2 \text{ V i } U_{GSQ2} = -0,5 \text{ V}$$

$$I_{DQ} = \frac{K}{2} (U_{GSQ} - U_{GS0})^2 = 1 \text{ mA}$$

$$U_{DSQ} = U_{DD} - I_{DQ} R_S = 10 \text{ V}$$

$$U_{DSZas} = 1 \text{ V}, \quad U_{DSQ} > U_{DSZas}, \text{ zasićenje}$$

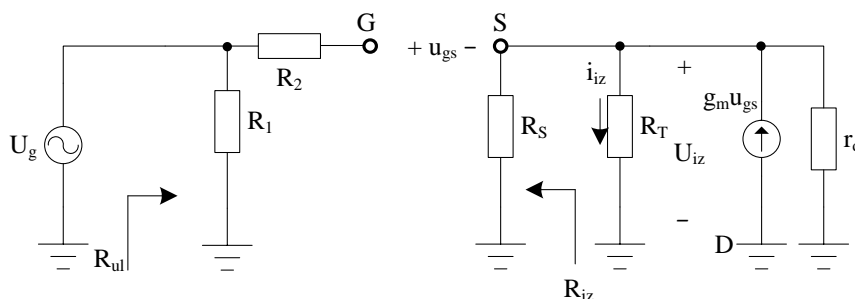
Dinamički parametri:

$$g_m = K(U_{GSQ} - U_{GS0})(1 + \lambda U_{DSQ}) = 2,1 \text{ mA/V } (g_m = 2 \text{ mA/V} - \text{ako se zanemari } \lambda)$$

$$r_d = 1/(\lambda \cdot I_{DQ}) = 200 \text{ k}\Omega$$

$$\mu = g_m \cdot r_d = 420 \text{ (400)}$$

b) Dinamička analiza:



$$U_{iz} = R_S \parallel r_d \parallel R_T \cdot g_m u_{gs} - \text{naponsko dijelilo}$$

$$U_g = u_{gs} + R_S \parallel r_d \parallel R_T \cdot g_m u_{gs} = (1 + R_S \parallel r_d \parallel R_T \cdot g_m) u_{gs}$$

$$A_{Vg} = \frac{U_{iz}}{U_g} = \frac{R_S \parallel r_d \parallel R_T \cdot g_m}{1 + R_S \parallel r_d \parallel R_T \cdot g_m} \approx 0,677 \text{ (0.667)}$$

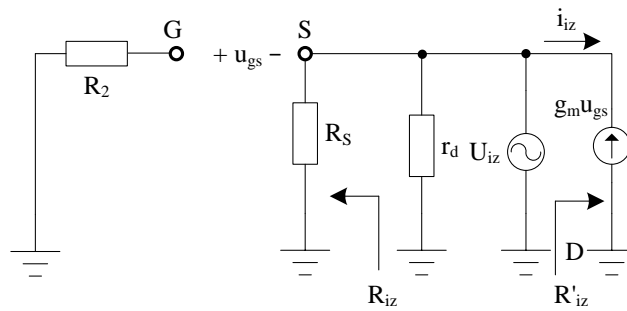
$$A_{Gm} = \frac{i_{iz}}{u_g} = \frac{u_{iz}}{u_g} \cdot \frac{i_{iz}}{u_{iz}} = A_{Vg} \cdot \frac{R_T}{u_{iz}} = A_{Vg} \cdot \frac{1}{R_T} = 0,339 \text{ (0,333) mA/V}$$

drugi način

$$A_{Gm} = \frac{i_{iz}}{U_g} = \frac{\frac{R_S \parallel r_d}{R_S \parallel r_d + R_T} \cdot g_m}{1 + R_S \parallel r_d \parallel R_T \cdot g_m} \approx 0,339 \text{ (0,333) mA/V}$$

c) otpori

$$R_{ul} = R_1 = 56k$$



$$R_{iz} = R_S \parallel r_d \parallel R'_{iz}$$

$$R'_{iz} = \frac{u_{iz}}{i_{iz}} = \frac{-u_{gs}}{-g_m \cdot u_{gs}} = \frac{1}{g_m} = 0,476k(0,5k)$$

$$R_{iz} = 0,384k(0,4k)$$

ZADATAK 2:**a)**

$$U_{BE} = U_T \ln \left(\frac{n_{B0}}{n_{0B}} \right) = 0,672 \text{ V}$$

$$N_{AB} \cong \frac{n_i^2}{n_{0B}} = 5,26 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$p_{0E} = p_{E0} / \exp \left(\frac{U_{BE}}{U_T} \right) = 104 \text{ cm}^{-3}$$

$$N_{DE} \cong \frac{n_i^2}{p_{0E}} = 2,02 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

b)

$$D_{pE} = \mu_{pC} \cdot U_T = 7,76 \text{ cm}^2 / \text{s}$$

$$D_{nB} = \mu_{nB} \cdot U_T = 11,64 \text{ cm}^2 / \text{s}$$

$$I_{pE} = qSD_{pE} \frac{p_{E0}}{L_{pE}} = 24,83 \text{ } \mu\text{A}$$

$$I_{nE} = qSD_{nB} \frac{n_{B0}}{w_B} = 22,35 \text{ mA}$$

$$Q_{nB} = q \cdot S \cdot \frac{n_{B0} \cdot w_B}{2} = 9,6 \text{ pC}$$

$$I_R = \frac{Q_{nB}}{\tau_n} = 87,3 \text{ } \mu\text{A}$$

$$I_{nC} = I_{nE} - I_R = 22,2627 \text{ mA}$$

$$I_C = I_{nC} = 22,2627 \text{ mA}$$

$$I_B = I_{pE} + I_R = 112,13 \text{ } \mu\text{A}$$

$$I_E = -(I_{nE} + I_{pE}) = -22,37483 \text{ mA}$$

c)

$$\beta^* = \frac{I_{nC}}{I_{nE}} = 0,9961$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{I_{pE}}{I_{nE}}} = 0,9989$$

$$\alpha = \gamma \cdot \beta^* = 0,9949$$

$$\alpha = \frac{I_C}{-I_E} = 0,9949$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = 200$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = 199$$

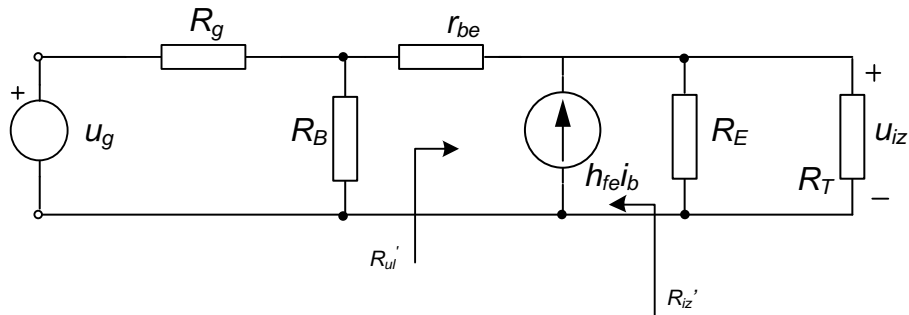
ZADATAK 3:

Statika:

$$\begin{aligned}
 U_{BB} &= U_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 6 \text{ V} \\
 R_B &= R_1 || R_2 = 28 \text{ k}\Omega \\
 I_{BQ} &= \frac{U_{BB} - U_{BEQ}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = 25 \mu\text{A} \\
 r_{be} &= \frac{U_T}{I_{BQ}} = 1 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

Dinamika:

Shema (2)



Ulazni otpor:

$$R_{ul}' = \frac{u_{ul}}{i_{ul}} = \frac{i_b r_{be} + (1 + h_{fe})i_b R_E || R_T}{i_b} = r_{be} + (1 + h_{fe})R_E || R_T = 176 \text{ k}\Omega$$

Naponsko pojačanje: (2)

$$A_{Vg} = \frac{u_{iz}}{u_g} = \frac{u_{iz}}{u_{ul}} \frac{u_{ul}}{u_g} = \frac{(1 + h_{fe})R_E || R_T}{r_{be} + (1 + h_{fe})R_E || R_T} \frac{R_B || R_{ul}'}{R_g + R_B || R_{ul}'}$$

$$A_{Vg} = 0,70$$

Izlazni otpor:

$$R_{iz} = R_E || R_{iz}'$$

$$\begin{aligned}
 R_{iz}' &= \frac{u_{iz}}{(1 + h_{fe})i_b} = \frac{u_{iz}}{(1 + h_{fe})u_{iz}} (r_{be} + R_g || R_B) = \frac{r_{be} + R_g || R_B}{1 + h_{fe}} \\
 R_{iz} &= 1,81 || \frac{1 + 7,37}{101} = 70 \Omega
 \end{aligned}$$

ZADATAK 4:

$$(1) U_{izl} = A(u_+ - u_-) = A \frac{1}{3} (U_{ul} - U_x)$$

$$(2) \frac{U_{ul} - U_x}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{U_x}{R_4} + \frac{U_x - U_{izl}}{R_5}$$

$$U_{izl} = U_{ul} \left(\frac{A}{3} - \frac{2A}{10} \right) \left(\frac{30}{30+A} \right) = 399 \text{ mV}$$