

OSNOVI ANALOGNE ELEKTRONIKE, JUN 2007.

Polaže se drugi kolokvijum (zadaci 3 i 4 – 2,5 sata) ili kompletan ispit (svi zadaci – 4 sata)

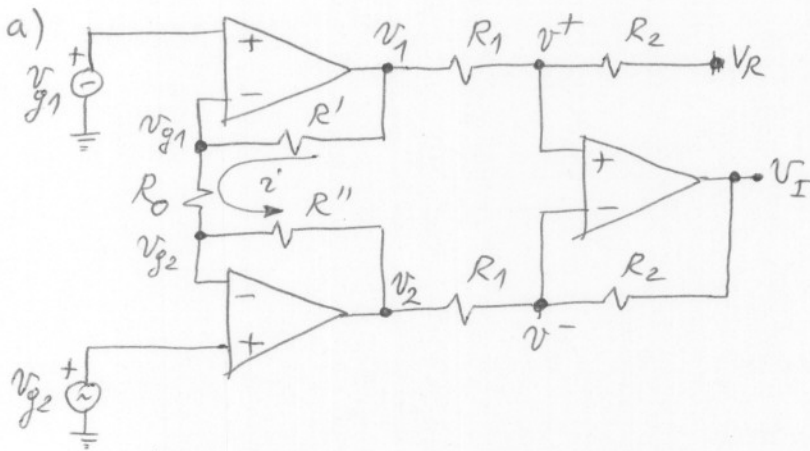
IME I PREZIME _____

BR. INDEKSA _____

1	2	3	4	Σ

1. a) [2] Nacrtati instrumentacioni pojačavač sa tri operaciona pojačavača.
- b) [2] Izračunati pojačanje pojačavača iz a).
- c) [2] Nacrtati zavisnost pojačanja pojačavača iz a) od otpornika za podešavanje pojačanja.
- d) [2] Izračunati zavisnost izlaznog napona pojačavača iz a) od naponskih ofseta operacionih pojačavača ulaznog pojačavačkog stepena.
- e) [2] Izračunati zavisnost izlaznog napona pojačavača iz a) od ulaznih struja operacionih pojačavača ulaznog pojačavačkog stepena.

Rešenje:



$$b) \quad i = \frac{v_{g1} - v_{g2}}{R_0} \quad \begin{matrix} R' = R \\ R'' = R \end{matrix}$$

$$v_1 = R' i + v_{g1}$$

$$v_2 = R'' i + v_{g2}$$

$$v^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_R$$

$$v^- = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_2 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_I$$

$$v_I = \frac{R_2}{R_1} (v_1 - v_2) + V_R$$

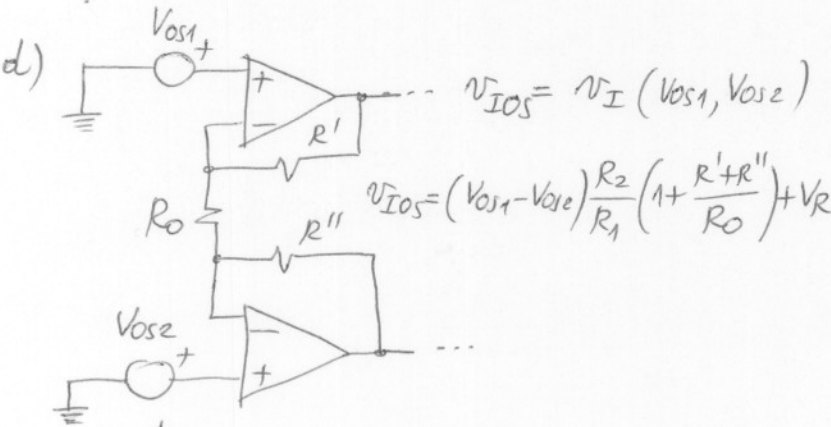
$$v_1 - v_2 = R' i + v_{g1} - (v_{g2} - R'' i)$$

$$v_1 - v_2 = (R' + R'') i + v_{g1} - v_{g2}$$

$$v_1 - v_2 = (v_{g1} - v_{g2}) \left(1 + \frac{R' + R''}{R_0}\right)$$

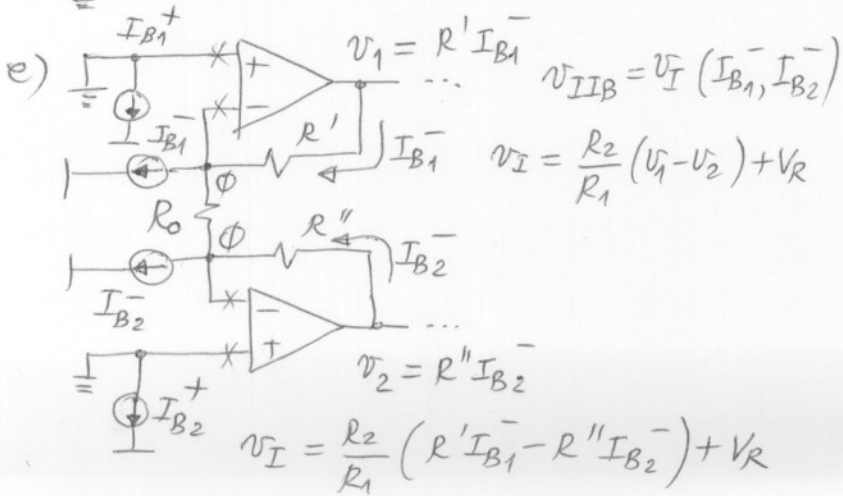
$$v_I = (v_{g1} - v_{g2}) \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{R' + R''}{R_0}\right) + V_R$$

$$A_m = \frac{v_i}{v_{g1} - v_{g2}} = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{2R}{R_0}\right)$$



$$v_{IOS} = v_I (V_{os1}, V_{os2})$$

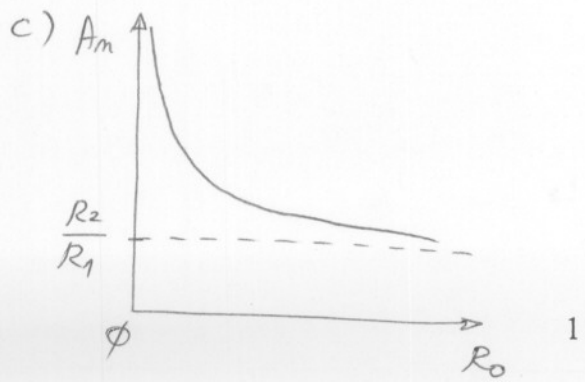
$$v_{IOS} = (V_{os1} - V_{os2}) \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{R' + R''}{R_0}\right) + V_R$$

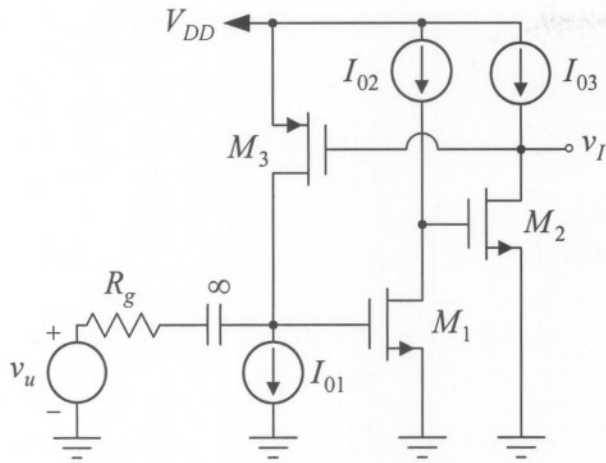


$$v_{IIB} = v_I (I_{B1}, I_{B2})$$

$$v_I = \frac{R_2}{R_1} (v_1 - v_2) + V_R$$

$$v_I = \frac{R_2}{R_1} (R' I_{B1} - R'' I_{B2}) + V_R$$





2. U kolu sa slike parametri tranzistora su:
 $V_{TN} = -V_{TP} = V_T = 0,7\text{ V}$, $\mu_n C_{ox} = 110\mu\text{A/V}^2$,
 $\mu_p C_{ox} = 50\mu\text{A/V}^2$, $W/L = 10\mu\text{m}/1\mu\text{m}$,
 $\lambda_n = 0,04\text{ V}^{-1}$ i $\lambda_p = 0,05\text{ V}^{-1}$, dok je:
 $V_{DD} = 3,3\text{ V}$, $I_{O1} = I_{O2} = I_{O3} = 100\mu\text{A}$ i
 $R_g = 50\Omega$. Odrediti:

- [2] kružno pojačanje βa ;
- [3] naponsko pojačanje $a = v_i / v_u$;
- [3] otpornost R_u koju vidi pobudni generator v_u ;
- [2] izlaznu otpornost pojačavača R_i .

Rešenje:

a) $\beta a = -g_{m1} r_{ds1} g_{m2} r_{ds2} g_{m3} (R_g \parallel r_{ds3}) = -217,4$.

b) $a = a_{\infty} \frac{T}{1+T} + \frac{a_0}{1+T}$, $T = -\beta a$, $a_0 = 0$, $a_{\infty} = \frac{1}{g_{m3} R_g} = 63,25$
 $\Rightarrow a = a_{\infty} \frac{T}{1+T} \approx 63$.

c) $R_u = R_g + R_{u1}$, $R_{u1} = R_{u10} \frac{1 - \beta a_{ksu}}{1 - \beta a_{ovu}}$, $\beta a_{ksu} = 0$, $\beta a_{ovu} = \beta a (R_g \rightarrow \infty)$
 $\Rightarrow \beta a_{ovu} = -8,7 \cdot 10^5$, $R_{u10} = r_{ds3} \Rightarrow R_{u1} = 0,23\Omega$.
 $\Rightarrow R_u = 50,23\Omega$

d) $R_i = R_{i0} \frac{1 - \beta a_{ksi}}{1 - \beta a_{ovi}}$, $R_{i0} = r_{ds2}$, $\beta a_{ksi} = 0$, $\beta a_{ovi} = \beta a$
 $\Rightarrow R_i = \frac{r_{ds2}}{1 - \beta a} \approx 1,14\text{ k}\Omega$.

3. Za realizaciju pojačavača u ovom zadatku se koriste operacioni pojačavači sa jednopolnom prenosnom karakteristikom, otpornici i dve baterije za napajanje.

a) [2] Nacrtati dvostepeni pojačavač napravljen od kaskadne veze dva invertujuća pojačavača istog pojačanja.

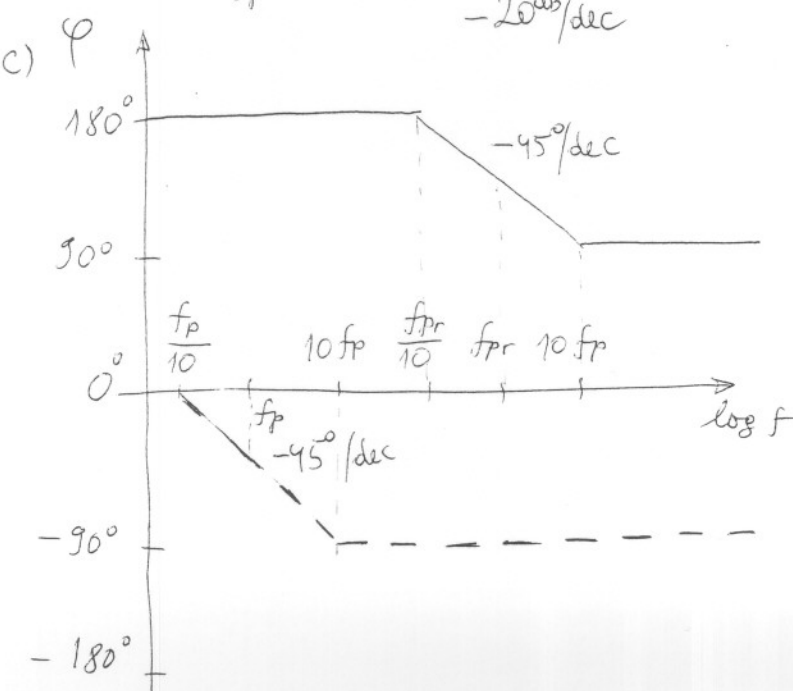
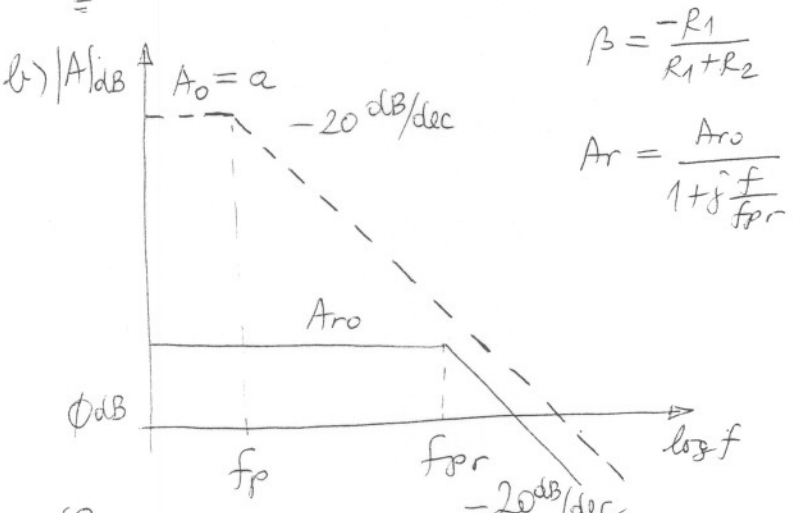
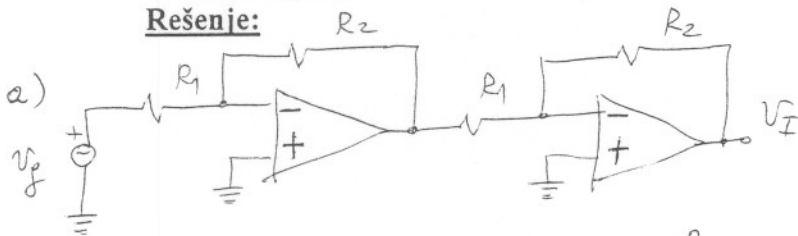
b) [2] Na istom dijagramu nacrtati isprekidanom linijom Bodeovu amplitudsku karakteristiku pojačanja operacionog pojačavača i nacrtati punom linijom Bodeovu amplitudsku karakteristiku pojačanja invertujućeg pojačavača iz tačke a).

c) [2] Na istom dijagramu nacrtati isprekidanom linijom Bodeovu faznu karakteristiku pojačanja operacionog pojačavača i nacrtati punom linijom Bodeovu faznu karakteristiku pojačanja invertujućeg pojačavača iz tačke a).

d) [2] Na istom dijagramu nacrtati isprekidanom linijom Bodeovu amplitudsku karakteristiku pojačanja operacionog pojačavača i nacrtati punom linijom Bodeovu amplitudsku karakteristiku pojačanja dvostepenog pojačavača iz tačke a).

e) [2] Na istom dijagramu nacrtati isprekidanom linijom Bodeovu faznu karakteristiku pojačanja operacionog pojačavača i nacrtati punom linijom Bodeovu faznu karakteristiku pojačanja dvostepenog pojačavača iz tačke a).

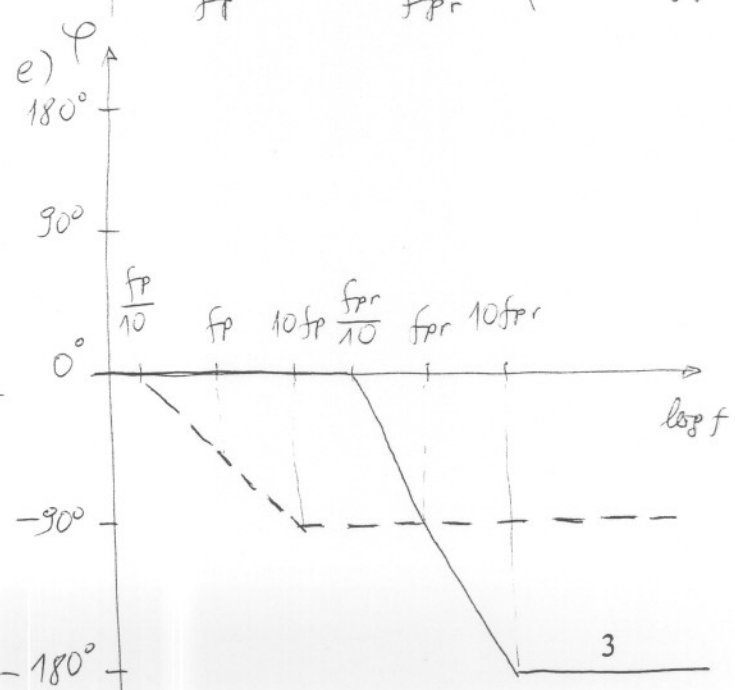
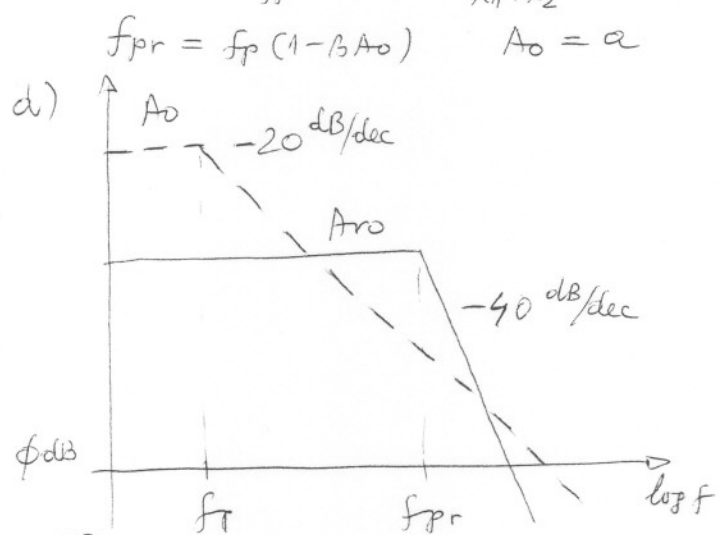
Rešenje:

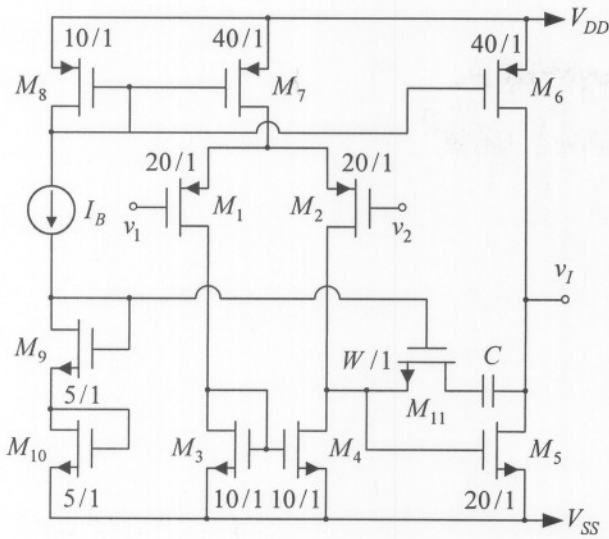


$$A_r = \frac{A_{ro}}{1 - \beta A} = \frac{-k A_0}{1 - \beta A_0}$$

$$A = \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_p}}$$

$$k = \frac{R_2}{R_1 + R_2} < 1$$

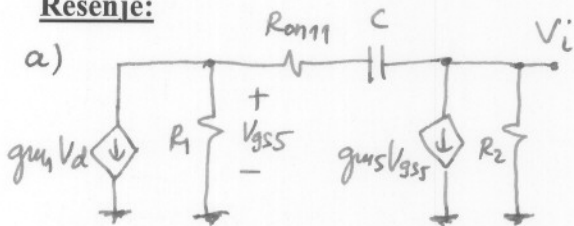




4. Parametri tranzistora u pojačavaču sa slike su:
 $\mu_n C_{ox} = 110 \mu A/V^2$, $\mu_p C_{ox} = 50 \mu A/V^2$,
 $V_{TN} = 0,7 V$, $V_{TP} = -V_{TN}$, $\lambda_n = 0,04 V^{-1}$ i
 $\lambda_p = 0,05 V^{-1}$. Na istoj slici je, pored svakog tranzistora, dat odnos širine i dužine kanala, dok je: $V_{DD} = -V_{SS} = 2,5 V$, $I_B = 10 \mu A$, $C = 5 pF$ i $KT = 4 \cdot 10^{-21} J$.

- a) [4] Odrediti funkciju prenosa diferencijalnog pojačavanja pojačavača, $A_d(s) = V_i(s)/V_d(s)$
 $V_d = V_2 - V_1$.
- b) [2] Odrediti širinu kanala W tako da funkcija prenosa iz tačke a) bude jednopolna.
- c) [4] Odrediti efektivnu vrednost napona šuma na ulazu pojačavača V_{nirms} koji potiče od uticaja termičkog šuma. Zanemariti uticaj šuma koji unose tranzistori M_{7-11} .

Rešenje:



$$A_d(s) = A_0 \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{1 + \frac{s}{\omega_p}}, \quad A_0 = g_{m1} R_1 g_{m5} R_2 = 12948,$$

$$\omega_z = \frac{1}{C(R_{on11} - \frac{1}{g_{m5}})}, \quad \omega_p = \frac{1}{C R_d}$$

$$R_d = R_1 + R_{on11} + R_2(1 + g_{m5} R_1)$$

$$R_1 = r_{ds2} || r_{ds4}, \quad R_2 = r_{ds5} || r_{ds6}$$

b) $\omega_z \rightarrow \infty \Rightarrow R_{on11} = \frac{1}{g_{m5}} \Rightarrow \frac{1}{B_{n1}(V_{GS1} - V_T)} = \frac{1}{B_5(V_{GS5} - V_T)}$

$\Rightarrow B_{n1} = B_5 \Rightarrow W = 20 \mu m$.

c) zbog velikog pojačanja ulaznog stepena M_{1-4} zanemariv je uticaj šuma koji potiče od tranzistora M_{5-6}

$$e_{itot}^2 = e_i^2 \approx 2 e_{i1}^2 + 2 \left(\frac{g_{m3}}{g_{m1}}\right)^2 e_{i3}^2, \quad e_{i1}^2 = e_{i2}^2, \quad e_{i3}^2 = e_{i4}^2, \quad e_{ij}^2 = \frac{8KT}{3g_{mj}}$$

$$\Rightarrow e_i^2 = 2 e_{i1}^2 \left(1 + \left(\frac{g_{m3}}{g_{m1}}\right)^2 \frac{e_{i3}^2}{e_{i1}^2}\right) = 2,19 \cdot 10^{-16} V^2/Hz$$

$$V_{nirms} = \sqrt{f_x \cdot e_i^2}, \quad f_x = f_H \frac{\pi}{2}, \quad f_H = f_p = \frac{1}{2\pi C R_d} \Rightarrow f_x = \frac{1}{4 C R_d}$$

$$R_d \approx g_{m5} R_1 R_2 \Rightarrow f_p \approx 491,7 Hz \Rightarrow f_x = 772,3 Hz$$

$\Rightarrow V_{nirms} \approx 411 nV$.