

**OSNOVI ANALOGNE ELEKTRONIKE, SEPTEMBAR 2009.**

**Polaže se drugi kolokvijum (zadaci 3 i 4 - traje 2 sata), ili  
kompletan ispit (svi zadaci - traje 3 sata)**

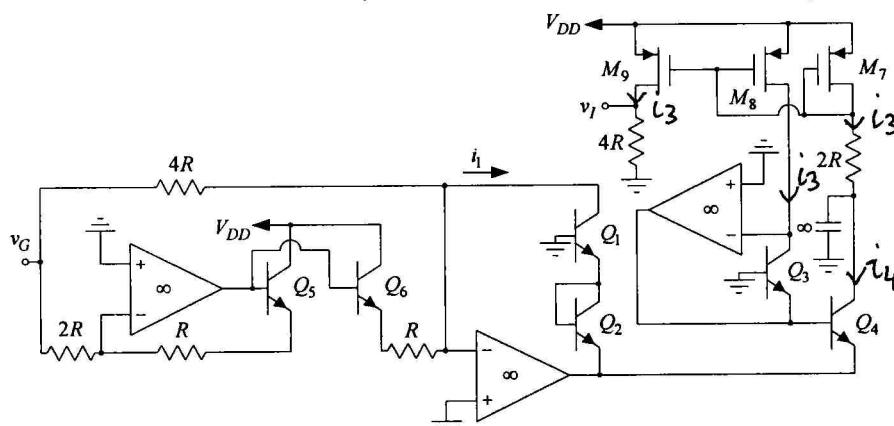
**IME I PREZIME** \_\_\_\_\_ **BR. INDEKSA** \_\_\_\_\_

1	2	3	4	$\Sigma$

1. a) [5] Nacrtati direktno spregnut pojačavač (bez upotrebe sprežnih kondenzatora) sa NMOS tranzistorom na ulazu, NPN tranzistorom na izlazu i negativnom povratnom spregom koja povećava ulaznu impedansu i smanjuje izlaznu impedansu, napajan iz dve baterije za napajanje. Na raspolaganju su jedan NMOS i dva NPN tranzistora.  
b) [2] Napisati opšte izraze za izračunavanje ulazne i izlazne impedanse pojačavača iz tačke a).  
c) [3] Nacrtati vremenske dijagrame napona na svim priključcima ulaznog i izlaznog tranzistora za sinusoidalni napon pobudnog generatora.

**Rešenje:**

2. U kolu sa slike operacioni pojačavači se mogu smatrati idealnim, bipolarni tranzistori su identičnih karakteristika i imaju  $\beta_F \rightarrow \infty$  i  $V_A \rightarrow \infty$ , MOSFET-ovi su identičnih karakteristika sa  $\lambda \rightarrow 0$ , dok je  $R = 10\text{k}\Omega$ . Smatrati da su svi bipolarni tranzistori, kada provode, polarisani za rad u direktnom aktivnom režimu, MOS tranzistori za rad u zasićenju, da su operacioni pojačavači izvan zasićenja, dok je ulazni napon  $v_G = V_m \sin(2\pi ft)$ ,  $f = 1\text{kHz}$ .



- a) [4] Odrediti zavisnost  $i_1 = f(v_G)$ .  
 b) [4] Odrediti zavisnost  $v_I = g(i_1)$ .  
 c) [2] Ako je  $V_m = 1\text{V}$ , nacrtati vremenski oblik napona  $v_I$ .

### Rešenje:

a)  $V_G < 0 \Rightarrow Q_5 \text{ on}, Q_6 \text{ on} \Rightarrow V_{ES} = V_{E6} = -\frac{V_G}{2}$

$$i_1 = \frac{V_{EG}}{R} + \frac{V_G}{4R} = -\frac{V_G}{2R} + \frac{V_G}{4R} = -\frac{V_G}{4R}$$

$$V_G > 0 \Rightarrow Q_5, Q_6 \text{ off} \Rightarrow i_1 = \frac{V_G}{4R} = \frac{|V_G|}{4R}$$

b)  $V_{BE1} + V_{BE2} = V_{BE3} + V_{BE4}$

$$\Rightarrow i_1^2 = i_3 i_4 \Rightarrow i_4 = \frac{i_1^2}{i_3}$$

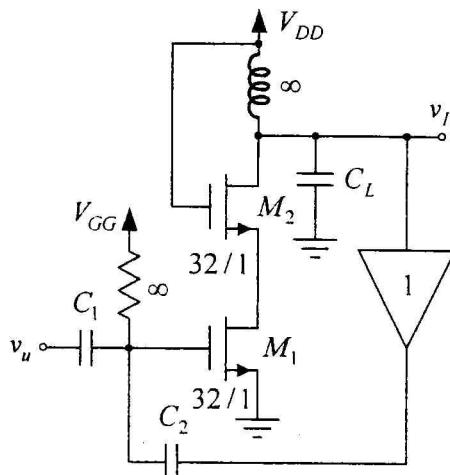
$$i_3 = i_4 \Rightarrow i_3 = \left(\frac{i_1^2}{i_3}\right) \approx \frac{i_1^2}{i_3} \Rightarrow i_3 = \sqrt{i_1^2} = I_{1\text{eff}}$$

$$V_I = 4R i_3 = |V_G|_{\text{eff}}$$

c)  $V_I = |V_G|_{\text{eff}} \Rightarrow V_I = \frac{V_m^2}{2} = 0.5\text{V}$ .

- 3.** a) [2] Nacrtati idealni diferencijator sa operacionim pojačavačem, napajanim iz dve baterije za napajanje.  
b) [4] Nacrtati Bodeovu amplitudsku i faznu karakteristiku pojačanja kola iz tačke a) za slučaj idealnog operacionog pojačavača.  
c) [4] Nacrtati Bodeovu amplitudsku i faznu karakteristiku pojačanja kola iz tačke a) za slučaj operacionog pojačavača sa jednopolnom prenosnom karakteristikom.

**Rešenje:**



4. U kolu sa slike parametri tranzistora su:  $V_T = 0.7 \text{ V}$ ,  $\mu_n C_{ox} = 100 \mu\text{A/V}^2$ ,  $\lambda \rightarrow 0$ ,  $C_{gs1} = C_{gs2} = 100 \text{ fF}$  i  $C_{gd1} = C_{gd2} = 10 \text{ fF}$ . Na slici je dat, pored svakog tranzistora, odnos širine i dužine kanala, dok je:  $V_{DD} = 1.5 \text{ V}$ ,  $V_{GG} = 0.95 \text{ V}$ ,  $C_L = 500 \text{ fF}$  i  $C_1 = C_2 = 100 \text{ fF}$ . Pojačavač čije je pojačanje 1 ima  $R_u \rightarrow \infty$  i  $R_i = 0$  i pojačanje nezavisno od učestanosti.

- a) [7] Odrediti i nacrtati asimptotsku amplitudsku karakteristiku naponskog pojačanja  $A(jf) = V_i(jf)/V_u(jf)$ .
- b) [3] Odrediti propusni opseg pojačavača.

Rešenje:

a)

$$G_{m1} = \frac{I_{d2}}{V_{gs1}} = \frac{g_m}{1+s \frac{C_4}{g_m}}$$

$$s C_5 V_i = -I_{d2} = -G_{m1} V_{gs1}$$

$$s C_1 (V_u - V_{gs1}) + s C_2 (V_i - V_{gs1}) - s C_3 V_{gs1} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{V_i}{V_u} = -\frac{C_1}{C_2} \frac{1}{1+s \frac{C_4}{G_{m1}}} \frac{1}{\frac{C_5}{g_m} \frac{C_1+C_2+C_3}{C_2}}$$

$$C_3 \approx C_{gs1} + 2C_{gd1}, C_4 \approx C_{gs2} + 2C_{gd2}$$

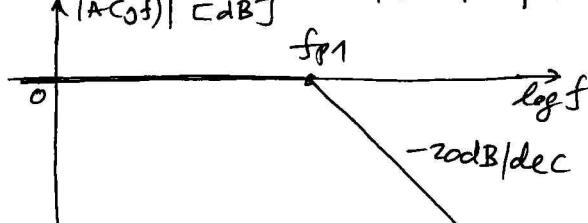
$$C_5 = C_L + C_{gd2}; \quad \Rightarrow \frac{V_i}{V_u} = -\frac{C_1}{C_2} \frac{1}{1+(1+s \frac{C_4}{g_m}) \cdot s \frac{C_5}{C_2} \frac{C_1+C_2+C_3}{g_m}}$$

$$\Rightarrow \frac{V_i}{V_u} = -\frac{C_1}{C_2} \frac{1}{1+s \frac{C_5}{g_m} \frac{C_1+C_2+C_3}{C_2} + s^2 \frac{C_4 C_5}{g_m^2} \frac{C_1+C_2+C_3}{C_2}}$$

$$\omega_{p1} < \omega_{p2} \Rightarrow \omega_{p1} = \frac{g_m}{C_5} \frac{C_2}{C_1+C_2+C_3} \Rightarrow f_{p1} = \frac{\omega_{p1}}{2\pi} = 78 \text{ MHz},$$

$$\omega_{p2} = \frac{g_m}{C_4} \Rightarrow f_{p2} = \frac{g_m}{2\pi C_4} \cong 1 \text{ GHz} \gg \omega_{p1}$$

$$\Rightarrow A(s) = \frac{V_i(s)}{V_u(s)} \approx \frac{-C_1/C_2}{1+s/\omega_{p1}} = -\frac{1}{1+\frac{s}{2\pi f_{p1}}}$$



b)  $BW \cong f_{p1} = 78 \text{ MHz}$ .