

NAPOMENA:

Kolokvijum traje tri sata.

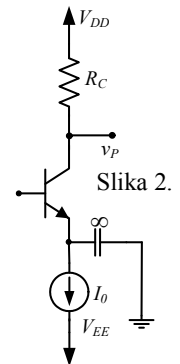
Numerisati svaku stranu sveske u gornjem spoljašnjem uglu. Svaki zadatak početi na novoj strani. Zadaci moraju biti čitko i uredno napisani. Zaokruživanjem broja zadatka u tabeli na omotu označiti koji su zadaci rađeni, i pored toga upisati broj strane na kojoj zadatak počinje.

1.

- a) [7.5] Izvesti model za mali signal bipolarnog NPN tranzistora i nacrtati šemu za mali signal.
- b) [7.5] Izvesti model za mali signal NMOS tranzistora i nacrtati šemu za mali signal.

2.

- a) [7.5] Nacrtati NMOS diferencijalni pojačavač sa aktivnim opterećenjem, i strujnim izvorom I_0 realizovanim pomoću prostog NMOS strujnog ogledala.
- b) [7.5] Ako je $\lambda = 0.04V^{-1}$ identično za sve tranzistore $\mu_n C_{ox} = 200 \mu A/V^2$, $\mu_p C_{ox} = 100 \mu A/V^2$, $V_T = 1V$, a struja strujnog izvora $I_0 = 1mA$, izračunati diferencijalno pojačanje.
- c) [10] Ako se na izlaz pojačavača iz prethodne tačke poveže kolo sa slike 2, odrediti ukupno pojačanje tako dobijenog višestepenog pojačavača. Za bipolarni tranzistor $\beta_0 = 100$, $V_A \rightarrow \infty$, $v_T = 25mV$, $R_C = 1k\Omega$.



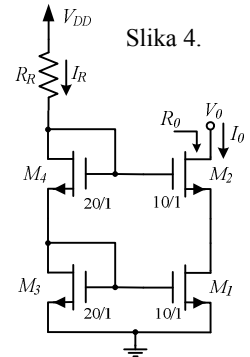
Slika 2.

3.

- a) [5] Nacrtati neinvertujući pojačavač sa pojačanjem $a_v = k + 1$. Koliki je odnos otpornika u povratnoj sprezi?
- b) [5] Objasniti kako se upotrebom takvog pojačavača može kondicionirati signal sa senzora neke fizičke veličine tako da se eliminiše unutrašnja otpornost senzora, a njegov naponski signal uveća 100 puta?

4. U kolu strujnog izvora sa slike 4. parametri tranzistora su: $\mu_n C_{ox} = 200 \mu A/V^2$, $V_T = 1V$, $\lambda = 0.04V^{-1}$, dok je $R_R = 1k\Omega$, a $V_{DD} = 5V$. Na slici je, pored svakog tranzistora, dat odnos širine i dužine kanala.

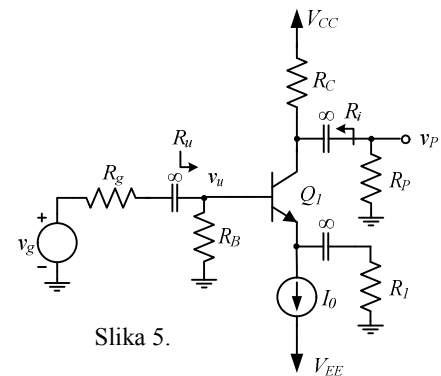
- a) [10] Odrediti struju I_R . Smatrati da su svi tranzistori u zasićenju, a Earlyjev efekat zanemariti.
- b) [3] Odrediti struju strujnog ogledala I_0 . Smatrati da su svi tranzistori u zasićenju, a Earlyjev efekat zanemariti.
- c) [4] Odrediti minimalni napon V_0 pri kom su svi tranzistori i dalje u zasićenju. Zanemariti Earlyjev efekat.
- d) [8] Odrediti izlaznu otpornost R_0 .



Slika 4.

5. Za kolo pojačavača sa slike 5 parametri tranzistora su $V_{BE} = 0.6V$, $V_{CES} = 0.2V$, $\beta_i = \beta_0 = 100$, $V_A \rightarrow \infty$, $V_T = 25mV$. Ostali parametri kola su $V_{CC} = -V_{EE} = 10V$, $I_0 = 1.01mA$, $R_B = 1M\Omega$, $R_1 = 100\Omega$, $R_g = 10k\Omega$, $R_P = 10k\Omega$.

- a) [6] Odrediti otpornost u kolektoru R_C tako da u mirnoj radnoj tački važi $V_{CE} = 15.6V$.
- b) [5] Odrediti ulaznu otpornost R_u koju vidi realni naponski generator v_g .
- c) [4] Odrediti izlaznu otpornost R_i koju vidi potrošač R_P .
- d) [10] Odrediti naponsko pojačanje $a_v = v_p/v_g$ i strujno pojačanje $a_i = i_p/i_g$.



Slika 5.

4.

a)

$$B_3 = B_4 = \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_3 = 4 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$$

$$V_{DD} - V_{GS3} - V_{GS4} = R_R I_R$$

$$\left. \begin{array}{l} I_R = I_{D3} = I_{D4} \\ B_3 = B_4 \end{array} \right\} \Rightarrow V_{GS3} = V_{GS4} = V_{GS34}$$

$$V_{DD} - 2V_{GS34} = \frac{R_R B_{34}}{2} (V_{GS34} - V_T)^2$$

$$V_{GS34}^2 - (2V_T - \frac{4}{B_{34}R_R})V_{GS34} + V_T^2 - \frac{2}{B_{34}R_R}V_{DD} = 0$$

$$V_{GS34,1} = -0.82\text{V}$$

$$V_{GS34,2} = 1.82\text{V}$$

Kako bi prema prvom rešenju tranzistor bio zakočen što je u kontradikciji sa početnom pretpostavkom da tranzistori rade u zasićenju to je validno samo drugo rešenje.

$$I_R = \frac{B_{34}}{2} (V_{GS34} - V_T)^2 = 1.34\text{mA}$$

b)

$$\left. \begin{array}{l} V_{GS1} = V_{GS3} \\ B_3 = 2B_1 \end{array} \right\} \Rightarrow I_{D1} = \frac{I_{D3}}{2}$$

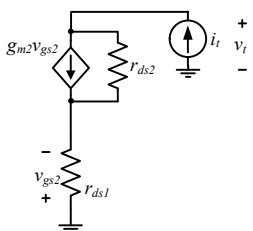
$$\left. \begin{array}{l} I_{D3} = I_{D4} = I_R \\ I_{D1} = I_{D2} = I_0 \end{array} \right\} \Rightarrow I_0 = \frac{I_R}{2} = 670\mu\text{A}$$

c)

$$V_{DG2} \geq -V_T \Rightarrow V_0 - 2V_{GS34} \geq -V_T$$

$$V_{0\text{min}} = 2V_{GS34} - V_T = 2.64\text{V}$$

d) $g_{m1} = g_{m2} = \sqrt{2I_0 B_1} = 1.64\text{mS}$



$$r_{ds1} = r_{ds2} = \frac{1}{\lambda I_0} = 37.3\text{k}\Omega$$

$$\left. \begin{array}{l} v_{gs2} = -i_t r_{ds1} \\ v_t = r_{ds1} i_t + r_{ds2} (i_t - g_{m2} v_{gs2}) \end{array} \right\} \Rightarrow R_0 = \frac{v_t}{i_t} = r_{ds1} + r_{ds2} (1 + g_{m2} r_{ds1}) = 2.36\text{M}\Omega$$

5.

a)

$$I_C = \frac{\beta_F}{\beta_F + 1} I_0 = 1\text{mA}$$

$$V_C = -R_B \frac{I_C}{\beta_F} - V_{BE} + V_{CE} = 5\text{V}$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C} = 5\text{k}\Omega$$

Parametri modela za male signale su: $g_m = \frac{I_C}{V_T} = 40\text{mS}$ i $r_\pi = \frac{\beta_0}{g_m} = 2.5\text{k}\Omega$

b) $R_u = R_B \parallel (r_\pi + (1 + \beta_0)R_1) = 12.4\text{k}\Omega$

c) $R_i = R_C = 5\text{k}\Omega$

d)

$$\left. \begin{aligned} v_p &= -\beta_0 i_b (R_C \parallel R_P) \\ i_b &= \frac{v_g}{R_g + R_u} \cdot \frac{R_B}{R_B + r_\pi + (1 + \beta_0) R_1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow v_p = -\frac{\beta_0 (R_C \parallel R_P)}{R_g + R_u} \frac{R_B}{R_B + r_\pi + (1 + \beta_0) R_1} v_g \Rightarrow a_v = \frac{v_p}{v_g} = -14.7$$
$$a_i = \frac{i_p}{i_g} = \frac{v_p}{R_P} \frac{R_g + R_u}{v_g} = \frac{R_g + R_u}{R_P} a_v = -32.9$$