

ETF U BEOGRADU, ODSEK ZA ELEKTRONIKU

Milan Prokin Radivoje Đurić

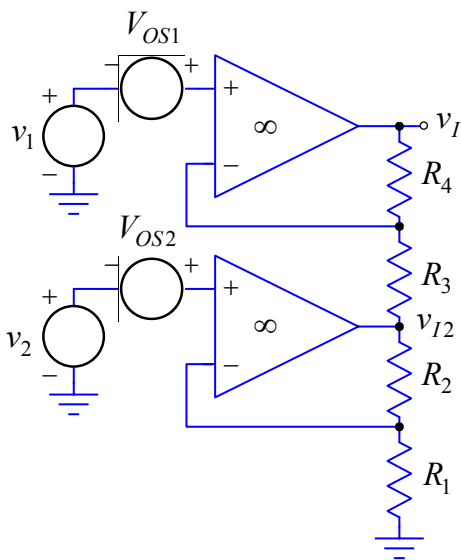
Osnovi analogne elektronike

domaći zadaci - 2007

1. domaći zadatak – grupa A

- 1.1. a) [5] Nacrtati direktno spregnut pojačavač (bez upotrebe sprežnih kondenzatora) sa operacionim pojačavačem, NPN tranzistorom i negativnom povratnom spregom koja smanjuje ulaznu otpornost i povećava izlaznu otpornost, napajan iz dve baterije za napajanje.
- b) [5] Nacrtati vremenske dijagrame napona na svim priključcima NPN tranzistora za sinusoidalni napon pobudnog generatora.

Rešenje:



1.2. U kolu sa slike operacioni pojačavači se mogu smatrati idealnim. Ekvivalentni generatori naponskog ofseta ovih operacionih pojačavača uzimaju vrednosti iz opsega $-1\text{mV} \leq V_{OS1} \leq 1\text{mV}$ i $-1\text{mV} \leq V_{OS2} \leq 1\text{mV}$, a poznato je $R_4 = 9R_3$.

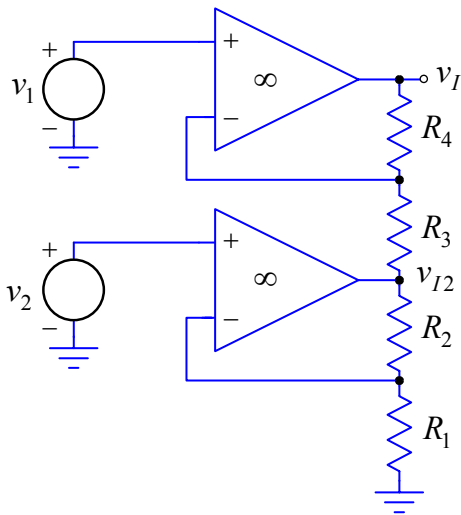
- a) [6] Odrediti uslov pod kojim je $v_I = k(v_1 - v_2)$, $k > 0$.
Koliko iznosi k ? Zanemariti uticaj naponskog ofseta.
- b) [4] Pod uslovom iz tačke a), odrediti opseg vrednosti izlaznog napona u mirnoj radnoj tački.

Rešenje:

1. domaći zadatak – grupa B

- 1.1. a) [5] Nacrtati direktno spregnut pojačavač (bez upotrebe sprežnih kondenzatora) sa operacionim pojačavačem, NPN tranzistorom i negativnom povratnom spregom koja povećava ulaznu otpornost i povećava izlaznu otpornost, napajan iz dve baterije za napajanje.
- b) [5] Nacrtati vremenske dijagrame napona na svim priključcima NPN tranzistora za sinusoidalni napon pobudnog generatora.

Rešenje:



1.2. U kolu sa slike operacioni pojačavači se mogu smatrati idealnim i napajaju se iz baterija $V_{CC} = -V_{EE} = 3\text{ V}$, a poznato je $R_4 = 9R_3$, $R_1 = 9R_2$, $v_1 = V_m \sin(2\pi ft)$, $v_2 = -V_m \sin(2\pi ft)$, $f = 1\text{ kHz}$.

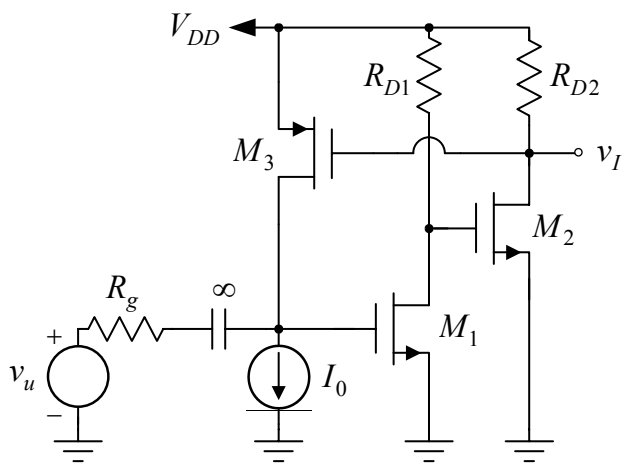
- a)** [6] Ako je $V_m = 100\text{ mV}$ nacrtati, u toku jedne periode ulaznog napona, vremenske oblike napona v_{I2} i v_I .
- b)** [4] Odrediti maksimalnu amplitudu ulaznog napona $V_{m\text{max}}$ za koju ne dolazi do izobličenja izlaznog napona v_I .

Rešenje:

2. domaći zadatak – grupa A

- 2.1.** a) [3] Nacrtati diferencijalni pojačavač sa operacionim pojačavačem i pojačanjem 10, napajan iz dve baterije za napajanje.
- b) [4] Izračunati napon na izlazu diferencijalnog pojačavača usled naponskog ofseta, pri čemu je generator povezan na neinvertujući ulaz operacionog pojačavača.
- c) [3] Modifikovati kolo iz tačke a) tako da se omogući kompenzacija uticaja naponskog ofseta.

Rešenje:



2.2. U kolu sa slike svi tranzistori su u zasićenju, a parametri u modelu za male signale su poznati. Smatrati da se Earlyjev efekat može zanemariti.

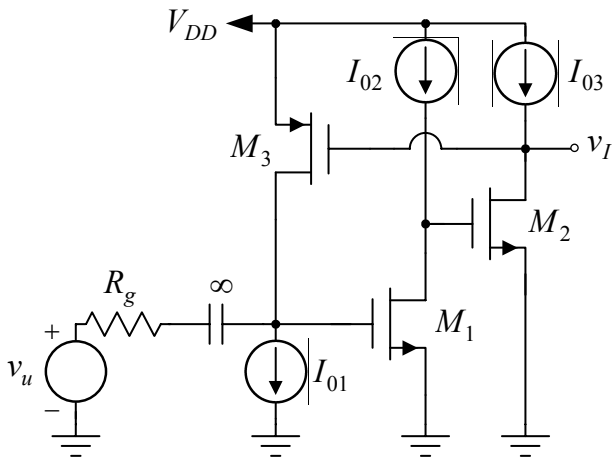
- a) [4] Odrediti izraz za kružno pojačanje.
 b) [6] Podrediti izraz za naponsko pojačanje pojačavača $a = v_i / v_u$.

Rešenje:

2. domaći zadatak – grupa B

- 2.1.** a) [3] Nacrtati diferencijalni pojačavač sa operacionim pojačavačem i pojačanjem 5, napajan iz dve baterije za napajanje.
- b) [4] Izračunati napon na izlazu diferencijalnog pojačavača usled naponskog ofseta, pri čemu je generator povezan na invertujući ulaz operacionog pojačavača.
- c) [3] Nacrtati kolo za kompenzaciju uticaja naponskog ofseta za kolo iz tačke a).

Rešenje:



- 2.2. U kolu sa slike svi tranzistori su u zasićenju, a parametri u modelu za male signale su poznati.
- [4] Odrediti izraz za kružno pojačanje.
 - [6] Podrediti izraz za naponsko pojačanje pojačavača $a = v_i / v_u$.

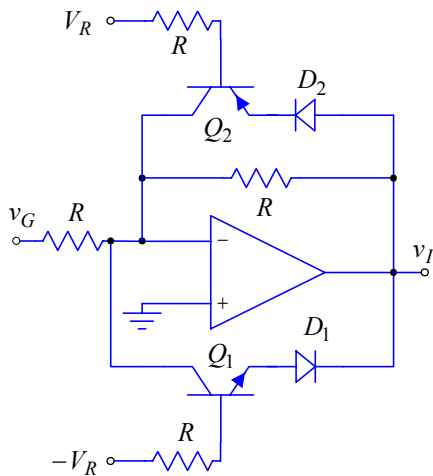
Rešenje:

3. domaći zadatak – grupa A

3.1. U kolu trorežimskog integratora se koristi operacioni pojačavač sa ulaznim NMOSFET tranzistorima sa zanemarljivim ulaznim strujama, čiji se uticaj naponskog ofseta može predstaviti generatorom $V_{OS} > 0$ čiji je pozitivan pol priključen na neinvertujući priključak operacionog pojačavača. Napon pobudnog generatora je $v_g = 0$, a napon početnih uslova je $V_{PU} > 0$.

- a) [4] Nacrtati trorežimski integrator i ekvivalentne šeme u sva tri režima rada.
- b) [2] Izvesti tačan izraz za izlazni napon integratora na kraju režima zadavanja početnih uslova.
- c) [2] Izvesti izraz za izlazni napon integratora u režimu integracije posle vremenskog intervala t_1 .
- d) [2] Izvesti izraz za izlazni napon integratora u režimu pamćenja posle vremenskog intervala t_2 .

Rešenje:



3.2. U kolu sa slike operacioni pojačavač se može smatrati idealnim i napaja se iz baterija $V_{CC} = -V_{EE} = 12\text{ V}$. Parametri tranzistora su: $\beta_F = 100$, $|V_{BE}| = V_\gamma = 0,6\text{ V}$ i $V_{CES} = 0$, pad napona na provodnoj diodi je $V_D = 0,6\text{ V}$, a ostale karakteristike su joj idealne. Poznato je: $R = 10\text{ k}\Omega$, $V_R = 5\text{ V}$ i $-10\text{ V} \leq v_G \leq 10\text{ V}$. Odrediti i nacrtati zavisnost:

a) [5] $v_I = f(v_G)$ i

b) [5] $i_{C1} = g(v_G)$.

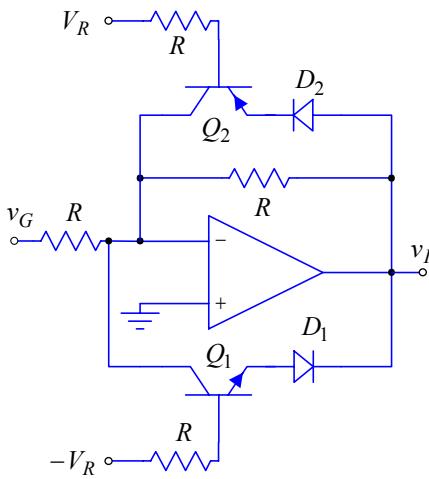
Rešenje:

3. domaći zadatak – grupa B

3.1. U kolu trorežimskog integratora se koristi operacioni pojačavač sa ulaznim *npn* tranzistorima sa ulaznim strujama I_B^+ i I_B^- i zanemarljivim uticajem naponskog ofseta. Napon pobudnog generatora je $v_g = 0$, a napon početnih uslova je $V_{PU} > 0$.

- a) [4] Nacrtati trorežimski integrator i ekvivalentne šeme u sva tri režima rada.
- b) [2] Izvesti tačan izraz za izlazni napon integratora na kraju režima zadavanja početnih uslova.
- c) [2] Izvesti izraz za izlazni napon integratora u režimu integracije posle vremenskog intervala t_1 .
- d) [2] Izvesti izraz za izlazni napon integratora u režimu pamćenja posle vremenskog intervala t_2 .

Rešenje:



3.2. U kolu sa slike operacioni pojačavač se može smatrati idealnim i napaja se iz baterija $V_{CC} = -V_{EE} = 12\text{ V}$. Parametri tranzistora su: $\beta_F = 100$, $|V_{BE}| = V_\gamma = 0,6\text{ V}$ i $V_{CES} = 0$, pad napona na provodnoj diodi je $V_D = 0,6\text{ V}$, a ostale karakteristike su joj idealne. Poznato je: $R = 10\text{ k}\Omega$, $V_R = 6\text{ V}$ i $-10\text{ V} \leq v_G \leq 10\text{ V}$. Odrediti i nacrtati zavisnost:

a) [5] $v_I = f(v_G)$ i

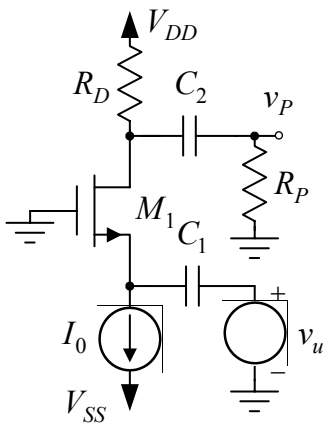
b) [5] $i_{C2} = g(v_G)$.

Rešenje:

4. domaći zadatak – grupa A

- 4.1.** a) [1] Nacrtati neinvertujući pojačavač sa operacionim pojačavačem sa jednopolnom prenosnom karakteristikom, napajan iz dve baterije za napajanje.
- b) [4] Nacrtati Bodeovu amplitudsku i faznu karakteristiku pojačanja neinvertujućeg pojačavača iz tačke a).
- c) [1] Nacrtati pojačavač napravljen od kaskadne veze dva neinvertujuća pojačavača iz tačke a).
- d) [4] Nacrtati Bodeovu amplitudsku i faznu karakteristiku pojačanja pojačavača iz tačke c), ako je ukupno pojačanje pojačavača iz tačke c) jednako pojačanju neinvertujućeg pojačavača iz tačke a).

Rešenje:



4.2. U pojačavaču sa slike upotrebljen je tranzistor čiji su parametri: $V_T = 1\text{V}$, $B = \mu_n C_{ox} W / L = 1\text{mA/V}^2$, $\lambda \rightarrow 0$, $C_{gs} = 0,4\text{pF}$, i $C_{gd} = 0,1\text{pF}$, dok je $V_{DD} = -V_{SS} = 2,5\text{V}$, $I_0 = 125\mu\text{A}$, $R_D = 10\text{k}\Omega$, $R_P = 10\text{k}\Omega$ i $C_1 = C_2 = 10\mu\text{F}$.

a) [5] Odrediti donju graničnu učestanost pojačavača f_L .

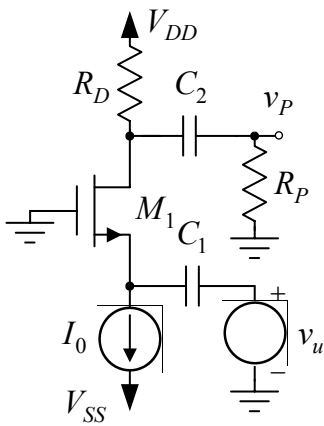
b) [5] Odrediti gornju graničnu učestanost pojačavača f_H , a zatim i propusni opseg.

Rešenje:

4. domaći zadatak – grupa B

- 4.1. a) [1] Nacrtati invertujući pojačavač sa operacionim pojačavačem sa jednopolnom prenosnom karakteristikom, napajan iz dve baterije za napajanje.
- b) [4] Nacrtati Bodeovu amplitudsku i faznu karakteristiku pojačanja invertujućeg pojačavača iz tačke a).
- c) [1] Nacrtati pojačavač napravljen od kaskadne veze dva invertujuća pojačavača iz tačke a).
- d) [4] Nacrtati Bodeovu amplitudsku i faznu karakteristiku pojačanja pojačavača iz tačke c), ako je ukupno pojačanje pojačavača iz tačke c) jednako pojačanju invertujućeg pojačavača iz tačke a).

Rešenje:



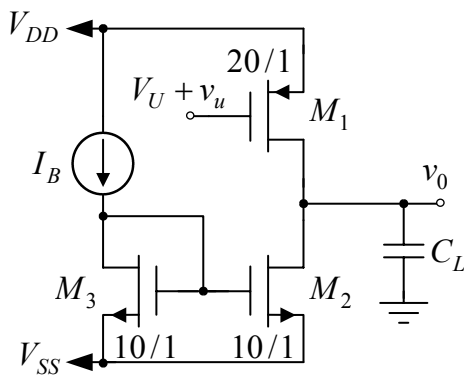
4.2. [10] U pojačavaču sa slike upotrebljen je tranzistor čiji su parametri: $V_T = 1\text{V}$, $B = \mu_n C_{ox} W / L = 1\text{mA/V}^2$, $\lambda \rightarrow 0$, $C_{gs} = 0,4\text{pF}$, i $C_{gd} = 0,1\text{pF}$, dok je $V_{DD} = -V_{SS} = 2,5\text{V}$, $I_0 = 125\mu\text{A}$, $R_D = 10\text{k}\Omega$, $R_P = 10\text{k}\Omega$ i $C_1 = C_2 = 10\mu\text{F}$. Odrediti i nacrtati asimptotsku amplitudsku karakteristiku naponskog pojačanja $A(j\omega) = V_p(j\omega)/V_u(j\omega)$.

Rešenje:

5. domaći zadatak – grupa A

- 5.1.** a) [3] Nacrtati opštu “A” (alternate) šemu pojačavačke ćelije sa naizmeničnim rasporedom *pn* spojeva sa diodama.
b) [3] Izvesti vezu između struja u granama šeme iz a).
c) [4] Nacrtati realizaciju šeme iz a) sa bipolarnim tranzistorima tako da važi veza iz b).

Rešenje:



5.2. U pojačavaču sa slike upotrebljeni su tranzistori čiji su parametri: $|V_T| = 0,7 \text{ V}$, $\mu_n C_{ox} = 2\mu_p C_{ox} = 100 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $C_{ox} = 2 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$, $\lambda_n = \lambda_p = 0,05 \text{ V}^{-1}$, koeficijenti flicker šuma $K_{FNMOS} = 2K_{FPMOS} = 10^{-24} \text{ V}^2\text{F}$, dok je: $KT = 4 \cdot 10^{-21} \text{ J}$, $V_{DD} = -V_{SS} = 1,65 \text{ V}$, $I_B = 20 \mu\text{A}$ i $C_L = 2 \text{ pF}$. Smatrati da su svi tranzistori u zasićenju.

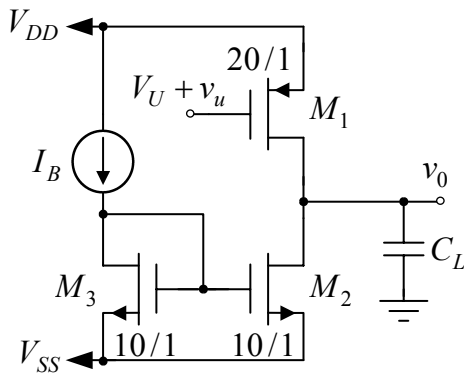
- a) [4] Odrediti ekvivalentni propusni opseg šuma f_x .
 b) [6] Odrediti efektivnu vrednost napona šuma na ulazu pojačavača V_{nirms} na učestanosti $f = 1 \text{ kHz}$.

Rešenje:

5. domaći zadatak – grupa B

- 5.1. a) [3] Nacrtati opštu “B” (balanced) šemu pojačavačke ćelije sa balansiranim rasporedom pn spojeva sa diodama.
- b) [3] Izvesti vezu između struja u granama šeme iz a).
- c) [4] Nacrtati realizaciju šeme iz a) sa bipolarnim tranzistorima tako da važi veza iz b).

Rešenje:



5.2. U pojačavaču sa slike upotrebljeni su tranzistori čiji su parametri: $|V_T| = 0,7 \text{ V}$, $\mu_n C_{ox} = 2\mu_p C_{ox} = 100 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $C_{ox} = 2 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$, $\lambda_n = \lambda_p = 0,05 \text{ V}^{-1}$, koeficijenti flicker šuma $K_{FNMOS} = 2K_{FPMOS} = 10^{-24} \text{ V}^2\text{F}$, dok je: $KT = 4 \cdot 10^{-21} \text{ J}$, $V_{DD} = -V_{SS} = 1,65 \text{ V}$, $I_B = 20 \mu\text{A}$ i $C_L = 2 \text{ pF}$. Smatrati da su svi tranzistori u zasićenju.

- a) [4] Odrediti ekvivalentni propusni opseg šuma f_x .
 b) [6] Odrediti efektivnu vrednost napona šuma na ulazu pojačavača V_{nirms} na učestanosti $f = 5 \text{ kHz}$.

Rešenje: