

**ETF U BEOGRADU, ODSEK ZA ELEKTRONIKU**

**Milan Prokin      Radivoje Đurić**

# **Osnovi analogne elektronike**

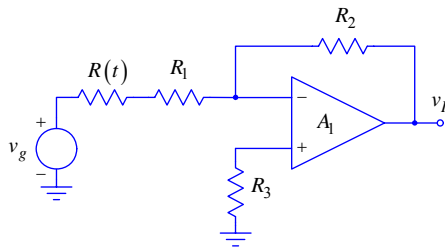
**domaći zadaci - 2009**



**1. Domaći zadatak**

- 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, ukoliko se drugačije ne naglasi, upotrebljen je idealni operacioni pojačavač a otpornost  $R$  je temperaturno zavisna i menja se po zakonu

$$R(t) = R_0 \left[ 1 + a(t - t_0) + b(t - t_0)^2 \right], \quad R_0 = 10 \text{ k}\Omega,$$

$$t_0 = 25^\circ \text{C}, \quad a = -5,81 \cdot 10^{-2} \left[ 1/^\circ \text{C} \right] \quad \text{i}$$

$$b = 1,3 \cdot 10^{-3} \left[ 1/(\text{C})^2 \right]. \text{ Smatrati da se ostale otpornosti u}$$

kolu ne menjaju sa temperaturom.

**a)** [4] Odrediti otpornosti  $R_1$  i  $R_2$ , tako da naponska pojačanja  $a = v_i / v_g$  na temperaturama

$$t_1 = 0^\circ \text{C} \text{ i } t_2 = 50^\circ \text{C} \text{ budu } a_1 = -9 \text{ i } a_2 = -11.$$

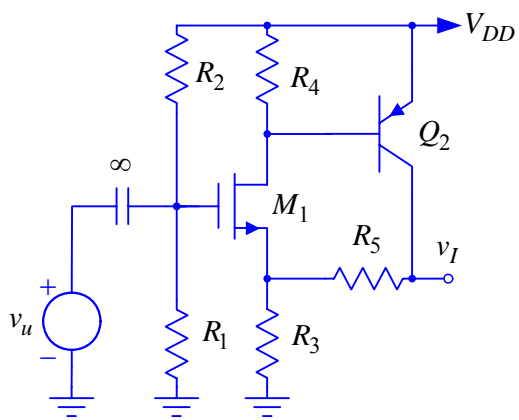
**b)** [6] Ako se temperatura ambijenta menja u opsegu  $t_1 \leq t \leq t_2$ , odrediti otpornost  $R_3$  tako da je uticaj ulaznih polarizacionih struja operacionog pojačavača  $I_B^+ = I_B^- = I_B = 100 \text{ nA}$  u mirnoj radnoj tački najmanji.

**Rešenje:**

**2. Domaći zadatak**

- 2.1.** a) [6] Nacrtati instrumentacioni pojačavač napajan iz dve baterije za napajanje sa jedinstvenim kolom za kompenzaciju naponskog i strujnog ofseta svih operacionih pojačavača.
- b) [2] Odrediti vrednosti otpornika u pojačavaču iz a) tako da pojačanje prvog pojačavačkog stepena bude 2 i da pojačanje drugog pojačavačkog stepena bude 10.
- c) [2] Izračunati faktor potiskivanja signala srednje vrednosti ako se otpornici u granama negativne povratne sprege prvog pojačavačkog stepena pojačavača iz a) razlikuju za 0.5%.

**Rešenje:**



2.2. U kolu pojačavača sa slike se može zanemariti Earlyjev efekat, a oba tranzistora rade u pojačavačkim režimima rada. Smatrati da je  $\beta_0 \rightarrow \infty$  i da su poznati parametri u modelu za male signale  $g_{m1}$  i  $g_{m2}$ .

Odrediti:

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

**Rešenje:**

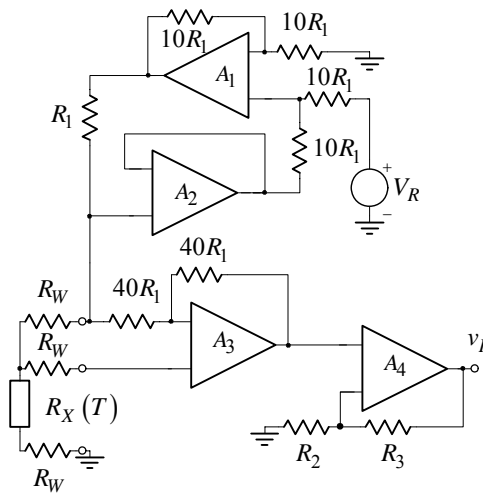
### 3. Domaći zadatak

**3.1.** U kolu trorežimskog integratora sa otpornikom za kompenzaciju uticaja ulaznih struja se koristi operacioni pojačavač sa ulaznim *pnp* 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 sa otpornikom za kompenzaciju uticaja ulaznih struja 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 svi operacioni pojačavači su idealnih karakteristika. Poznato je:  $V_R = 1,25 \text{ V}$ ,  $R_1 = 2,5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 9 \text{ k}\Omega$ , a otpornost  $R_X(T)$  je otpornost koja se menja sa temperaturom. Ova otpornost je u kolo priključena sa tri žice čije su otpornosti  $R_W$ .

- [2] Odrediti polaritet priključaka operacionih pojačavača  $A_{i,i=1,2,3,4}$ , tako da u kolu bude primenjena negativna povratna sprega.
- [6] Odrediti zavisnost izlaznog napona od parametara kola i senzorske otpornosti  $R_X(T)$ .
- [2] Ako se operacioni pojačavači napajaju iz jedne baterije za napajanje  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ , odrediti maksimalnu otpornost  $R_{X \text{ max}}$  za koju još uvek važi zavisnost iz

prethodne tačke. Smatrati da je  $R_W \ll R_X(T)$ .

**Rešenje:**



**4. Domaći zadatak**

4.1. a) [2] Nacrtati pojačavač sa zajedničkim sorsom i kondenzatorom  $C_S$  u sorsu, napajan iz dve baterije za napajanje, a koji je kapacitivno spregnut preko kondenzatora  $C_G$  sa pobudnim generatorom i kapacitivno spregnut preko kondenzatora  $C_P$  sa potrošačem.

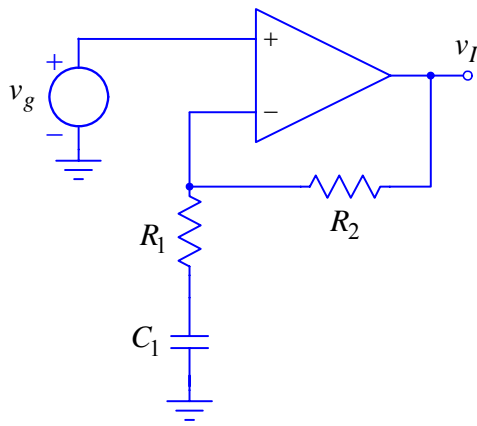
b) [2] Nacrtati Bodeovu amplitudsku i faznu karakteristiku pojačanja za  $C_S \rightarrow \infty$  i  $C_P \rightarrow \infty$ .

c) [2] Nacrtati Bodeovu amplitudsku i faznu karakteristiku pojačanja za  $C_G \rightarrow \infty$  i  $C_P \rightarrow \infty$ .

d) [2] Nacrtati Bodeovu amplitudsku i faznu karakteristiku pojačanja za  $C_G \rightarrow \infty$  i  $C_S \rightarrow \infty$ .

e) [2] Nacrtati Bodeovu amplitudsku i faznu karakteristiku pojačanja za  $C_P \rightarrow \infty$ .

**Rešenje:**



4.2. U kolu sa slike operacioni pojačavač ima jednopolnu funkciju prenosa  $A_{op}(s) = \frac{A_0}{1 + s/\omega_p}$ ,  $A_0 = 10^5$  i  $\omega_p = 20 \text{ rad/s}$ , a poznato je  $R_2 = 9R_1 = 9 \text{ k}\Omega$ .

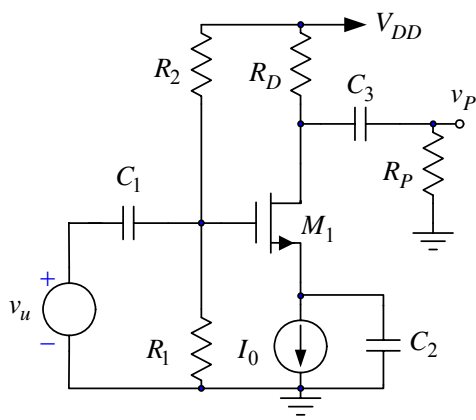
- [6] Ako je  $C_1 = 10 \mu\text{F}$ , odrediti i nacrtati asimptotsku amplitudsku i faznu karakteristiku kružnog pojačanja  $\beta a(s)$ .
- [4] Na istim slikama kao u tački a) ucrtati asimptotske karakteristike kružnog pojačanja kada je kondenzator  $C_1$  kratkospojen.

**Rešenje:**

**5. Domaći zadatak**

- 5.1. a) [4] Nacrtati dvostepeni širokopojasni pojačavač sa naponskim procesiranjem, NMOSFET-ovima i negativnom povratnom spregom koja smanjuje ulaznu impedansu i povećava izlaznu impedansu.
- b) [3] Izvesti izraz za naponsko pojačanje pojačavača iz a) bez kondenzatora u grani povratne sprege.
- c) [3] Nacrtati trajektoriju polova funkcije prenosa pojačavača iz b) pri promeni vrednosti otpornika u grani negativne povratne sprege.

**Rešenje:**



**5.2.** Parametri MOS tranzistora u kolu sa slike su:  $V_T = 1\text{ V}$ ,  $B = \mu_n C_{ox} W / L = 2\text{ mA/V}^2$ ,  $\lambda \rightarrow 0$ , i  $C_{gs} = C_{gd} = 1\text{ pF}$ , dok je:  $V_{DD} = 5\text{ V}$ ,  $I_0 = 1\text{ mA}$ ,  $R_1 = R_2 = 1\text{ M}\Omega$ ,  $R_D = 2\text{ k}\Omega$ ,  $R_P = 10\text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = 0,47\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 10\text{ }\mu\text{F}$  i  $C_3 = 2,2\text{ }\mu\text{F}$ .

- a) [5] Odrediti donju graničnu učestanost pojačavača  $f_L$ .
- b) [5] Odrediti gornju graničnu učestanost pojačavača  $f_H$ .

**Rešenje:**