

1. a) [12] Objasniti uticaj povratne sprege na položaj polova pojačavača sa dvopolnom funkcijom pojačanja. Za isti pojačavač nacrtati normalizovanu amplitudsku karakteristiku pojačanja sa povratnom spregom kao i vremenski odziv na pobudu oblika Hevisajdove funkcije, za nekoliko karakterističnih vrednosti fazne margine kružnog pojačanja.

b) [13] Koristeći pravila za crtanje GMK skicirati geometrijsko mesto korenova karakterističnog polinoma funkcije povratne sprege:  $1 + H(s) = 1 + K \frac{s+9}{(s+1)(s+3)^2} = 0$  za  $0 < K < \infty$ . [Pomoć pri izračunavanju tačaka odvajanja/spajanja: Pošto funkcija  $1/H(s)$  ima dvostruku nulu u  $s = -3$ , njen izvod ima prostu nulu u istoj tački, tj.  $s = -3$  je jedna od tačaka odvajanja/spajanja grana za  $-\infty < K < \infty$ .]

c) [12] Objasniti kompenzaciju dvopolnog pojačavača dominantnim polom. Zatim objasniti kompenzaciju kod koje se u kompenzaciono kolo uključuje i otpornost  $R_k$  i tako dobijenom nulom poništava pol drugog stepena nekompenzovanog pojačavača („paralelna kompenzacija“).

d) [13] Dvostepeni CMOS operacioni (transkonduktansni) pojačavač je kompenzovan tehnikom razdvajanja polova tako da mu je učestanost drugog pola veća od  $\omega_r$ . Objasniti postupak za poništavanje nule u desnoj poluravni uvođenjem naponskog bafera.

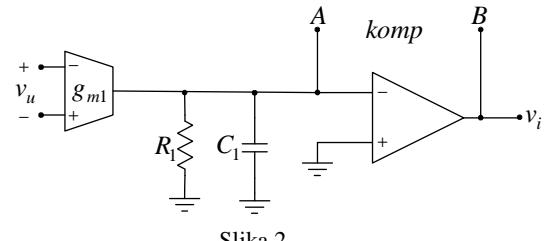
2. Na slici 2 je prikazana struktura dvostepenog operacionog pojačavača (OP). Poznato je da je ukupna otpornost u izlaznom čvoru prvog stepena  $R_1 = 100\text{k}\Omega$ , ukupna kapacitivnost u izlaznom čvoru prvog stepena  $C_1$  (koja stvara viši pol), dok transkonduktansa prvog stepena iznosi  $g_{m1} = 100\mu\text{S}$ . Poznato je i da drugi stepen, koga čini napredni pojačavač beskonačno velike ulazne i zanemarljivo male izlazne otpornosti, unosi samo jedan (niži) pol učestanosti  $f_2 = 2\text{ kHz}$  u prenosnu karakteristiku OP (pri čemu se može smatrati da je učestanost nižeg pola mnogo manja od učestanosti višeg pola).

Ako se od nekompenzovanog OP i dva otpornika u kolu povratne sprege napravi neinvertujući pojačavač pojačanja 100 na niskim učestanostima, karakteristika dobijenog pojačavača je maksimalno ravna.

Ako se između priključka A i mase poveže kondenzator  $C_K = 8\text{ pF}$ , a zatim se od tako modifikovanog OP napravi neinvertujući pojačavač pojačanja 10 na niskim učestanostima (korišćenjem dva otpornika u kolu povratne sprege), fazna margina iznosi  $\pi/8$  posmatrano na Bodeovoj aproksimativnoj faznoj karakteristici kružnog pojačanja (pri čemu se i dalje može smatrati da je učestanost nižeg pola mnogo manja od učestanosti višeg pola).

a) [12] Za nekompenzovani OP odrediti ukupnu kapacitivnost  $C_1$  izlaznog čvora prvog stepena, pojačanje na niskim učestanostima i učestanost višeg pola.

b) [13] Odrediti kapacitivnost novog kompenzacionog kondenzatora  $C_{K1}$  koga treba vezati između kompenzacionih priključaka A i B (nakon što se ranije pomenuti kondenzator  $C_K$  ukloni iz kola) tako da fazna margina kompenzovanog OP sa otpornom povratnom spregom u najgorem slučaju bude jednak  $60^\circ$ . Izračunati u tom slučaju i jediničnu učestanost i učestanost polova kružnog pojačanja.



Slika 2

3. Operacioni pojačavač ima dvopolnu amplitudsku karakteristiku i pojačanje na niskim učestanostima 40000.

Ako se od datog operacionog pojačavača i dva otpornika napravi neinvertujući pojačavač, pri čemu je otpornost otpornika od invertujućeg ulaza do mase  $1\text{k}\Omega$ , a otpornost otpornika od invertujućeg ulaza do izlaza  $79\text{k}\Omega$ , dobijeni pojačavač ima maksimalno ravnu amplitudsku karakteristiku i propusni opseg od  $70,71\text{krad/s}$ .

a) [10] Izračunati učestanosti polova nekompenzovanog operacionog pojačavača  $\omega_1$  i  $\omega_2$ .

b) [15] Izvršiti diferencijalnu kompenzaciju neinvertujućeg pojačavača pojačanja 8 (formiranog korišćenjem pomenutog operacionog pojačavača i dva otpornika, pri čemu je otpornost otpornika od invertujućeg ulaza do mase  $1\text{k}\Omega$ ) poklapajući nulom kompenzacionog kola pol operacionog pojačavača tako da nakon kompenzacije pomenuti neinvertujući pojačavač ima faznu marginu kružnog pojačanja  $\pi/4$ . Odrediti vrednosti kompenzacionih elemenata.