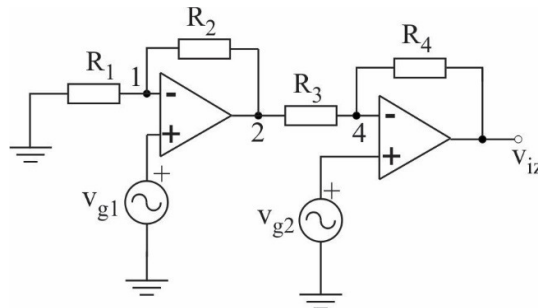


## OPERACIONI POJAČAVAČI

- U sistemu jednačina koji opisuje kolo ne piše se jednačina za izlazni čvor operacionog pojačavača, osim u slučaju kada je potrebno odrediti izlaznu struju operacionog pojačavača.
- Kada operacioni pojačavač radi u linernom režimu, potencijali oba ulaza su jednaki (dodatna jednačina u sistemu jednačina koji opisuje kolo).
- Ulazna impedansa operacionog pojačavača je beskonačna. To znači da ni na invertujućem ni na neinvertujućem ulazu nema ulazne struje.

- 1) Za realizaciju diferencijalnog pojačavača (kola za oduzimanje) upotrebom dva operaciona pojačavača koristi se šema prikazane na slici. Odrediti uslove koje moraju zadovoljiti elementi ovog kola da bi izlazni napon bio srazmeran razlici ulaznih napona. Upotrebljeni operacioni pojačavač je idealan.



$$\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_1 - v_2}{R_2} = 0$$

$$v_1 = v_{g1}$$

$$\frac{v_4 - v_2}{R_3} + \frac{v_4 - v_{iz}}{R_4} = 0$$

$$v_4 = v_{g2}$$

---


$$v_2 = \frac{(R_1 + R_2) \cdot v_{g1}}{R_1}$$

$$v_{iz} = \frac{R_4 \cdot v_{g2}}{R_3} - \frac{R_4 \cdot v_2}{R_3} + v_{g2}$$

$$v_{iz} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \cdot v_{g2} - \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{(R_1 + R_2)}{R_1} \cdot v_{g1}$$

$$v_{iz} = K \cdot (v_{g2} - v_{g1})$$

$$1 + \frac{R_4}{R_3} = \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{(R_1 + R_2)}{R_1}$$

$$1 + \frac{R_3}{R_4} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

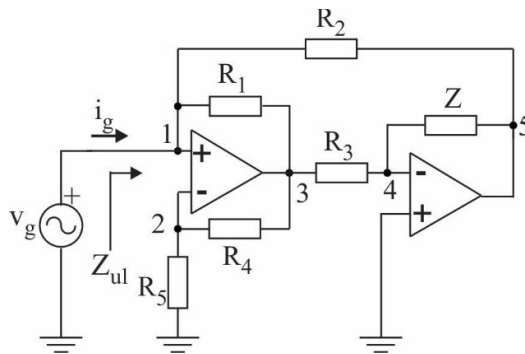
Neophodan uslov da kolo funkcioniše kao diferencijalni pojačavač je:

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_2}{R_1}$$

Vrednost diferencijalnog pojačanja utom slučaju iznosi:

$$A_d = \frac{v_o}{v_{g2} - v_{g1}} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \cdot \frac{1}{2}$$

- 2) Odrediti uslov koji moraju zadovoljiti elementi kola sa slike tako da ulazna impedansa kola  $Z_{in}$  bude obrnuto srazmerna impedansi  $Z$ .



$$Z_{in} = K \cdot \frac{1}{Z}$$

$$(2) \quad \frac{v_2}{R_5} + \frac{v_2 - v_3}{R_4} = 0$$

$$v_2 = v_g$$

$$(4) \quad \frac{v_4 - v_3}{R_3} + \frac{v_4 - v_5}{Z} = 0$$

$$v_4 = 0$$

$$(1) \quad -i_g + \frac{v_g - v_3}{R_1} + \frac{v_g - v_5}{R_2} = 0$$

$$v_3 = \frac{R_4 + R_5}{R_5} \cdot v_g$$

$$v_5 = -\frac{Z}{R_3} \cdot v_3$$

$$i_g = \frac{v_g - v_3}{R_1} + \frac{v_g - v_5}{R_2} = -\frac{R_4 + R_5}{R_1 \cdot R_5} \cdot v_g + \frac{1}{R_1} \cdot v_g + \frac{Z}{R_3 \cdot R_2} \cdot v_g + \frac{Z}{R_3 \cdot R_2} \cdot \frac{R_4}{R_5} \cdot v_g + \frac{1}{R_2} \cdot v_g$$

$$Z_{ul} = \frac{v_g}{i_g} = K \cdot \frac{1}{Z}$$

$$-\frac{R_4 + R_5}{R_1 \cdot R_5} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = 0$$

Neophodan uslov da kolo funkcioniše kao žirator:

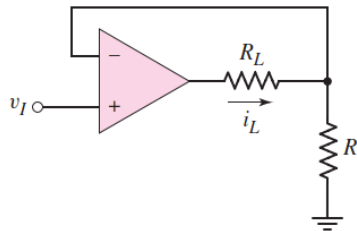
$$R_4 \cdot R_2 = R_1 \cdot R_5$$

$$i_g = \frac{Z}{R_3 \cdot R_2} \left( 1 + \frac{R_4}{R_5} \right) \cdot v_g$$

Analitički izraz ulazne impedanse je:

$$Z_{ul} = \frac{v_g}{i_g} = \frac{R_2 \cdot R_3 \cdot R_5}{R_4 + R_5} \cdot \frac{1}{Z}$$

- 3) Kolo na slici predstavlja konvertor napona u struju. Poznato je  $R_1 = 9 \text{ k}\Omega$   $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ . Operacioni pojačavač ulazi u zasićenje pri izlaznom naponu od 10 V. Odrediti:
- Zavisnost struje kroz potrošač  $R_L$  od ulaznog napona.
  - Koja je maksimalna vrednost ulaznog napona pri kojoj opracioni pojačavač radi u linearnoj oblasti.



$$v_o = v_I$$

$$i_L = \frac{v_I}{R_1}$$

$v_{out}$  je napon na izlazu operacionog pojačavača

Uslov da operacioni pojačavač radi u linearnoj oblasti je:

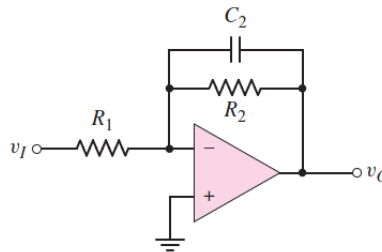
$$v_{out} = i_L \cdot (R_L + R_1) = \frac{v_I}{R_1} \cdot (R_L + R_1) < V_{sat}$$

Maksimalna vrednost ulaznog napona odgovara situaciji kada napon na izlazu operacionog pojačavača dostiže maksimalnu vrednost,  $V_{sat}$ , (operacioni pojačavač prelazi iz linearne oblasti u zasićenje):

$$v_{I_{max}} = \frac{R_1}{R_L + R_1} \cdot V_{sat} = \frac{9}{10} \cdot 10 \text{ V} = 9 \text{ V}$$

4) Za kolo aktivnog filtra sa slike odrediti:

- prenosnu funkciju  $T(s) = \frac{V_i(s)}{V_g(s)}$  i tip filtra
- Odrediti elementa kola tako da ulazna otpornost iznosi  $R_{in} = 20 \text{ k}\Omega$ , jednosmerno pojačanje -15, granična frekvencija 5 KHz.



$$\frac{v_1 - v_I}{R_1} + \frac{v_1 - v_O}{R_2} + s \cdot C \cdot (v_1 - v_O) = 0$$

$$v_1 = 0$$

$$T(s) = \frac{v_O}{v_I} = \frac{-R_2}{R_1 + s \cdot C \cdot R_1 \cdot R_2}$$

$$T(s) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + s \cdot C \cdot R_2}$$

Ovaj filter je **propusnik niskih frekvencija** jer kada frekvencija teži nuli pojačanje teži konačnoj vrednosti, a kada frekvencija teži beskonačnosti pojačanje teži nuli. Za propusnik niskih frekvencija nominalno pojačanje,  $T_o$ , se dobija za  $s=0$ .

$$T(s) = T_o \cdot \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_p}}$$

Nominalno pojačanje je  $T_o = -\frac{R_2}{R_1}$

Frekvencija pola  $\omega_p = \frac{1}{C \cdot R_2}$

Ulazna otpornost kola jednaka je otpornosti  $R_1$ .

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_1 = 20 \text{ k}\Omega$$

Iz uslova da nominalno pojačanje iznosi -15 dobija se  $R_2$ .

$$T_o = -\frac{R_2}{R_1} = -15$$

$$R_2 = -R_1 \cdot T_o = 300 \text{ k}\Omega$$

Amplitudska karakteristika se dobijakao moduo prenosne funkcijekola:

$$|T(j\omega)| = \left| T_o \cdot \frac{1}{1 + \frac{j \cdot \omega}{\omega_p}} \right| = |T_o| \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2}}$$

Granična frekvencija,  $\omega_{3dB}$ , je frekvencija na kojoj je moduo pojačanje manji  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ puta u odnosu na nominalno pojačanje.

$$|T(j\omega_{3dB})| = |T_o| \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\omega_{3dB} = \omega_p = \frac{1}{C \cdot R_2}$$

$$C = \frac{1}{\omega_{3dB} \cdot R_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^5}$$

$$C = 10^{-10} F = 106 \text{ pF}$$