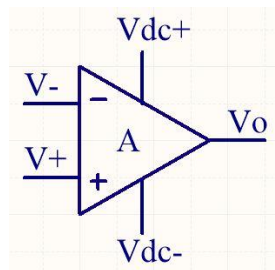


# Hardverski interfejs

## Vežbe 9

Napomena: Sve što je označeno plavom bojom na crtežima u sklopu zadataka je deo postavke zadataka, a sve što je označeno crvenom bojom dodato je u postupku rešavanja zadataka.

### Operacioni pojačavači



Osobine **idealnog operacionog pojačavača** su:

1. Beskonačna ulazna impedansa
2. Pojaćanje  $A$  u otvorenoj petlji teži beskonaćnosti
3. Izlazna otpornost teži nuli
4. Sve karaktersitike nezavisne od frekvencije

Operacioni pojačavač je po prirodi diferencijalni pojačavač:

$$V_o = A \cdot (V^+ - V^-)$$

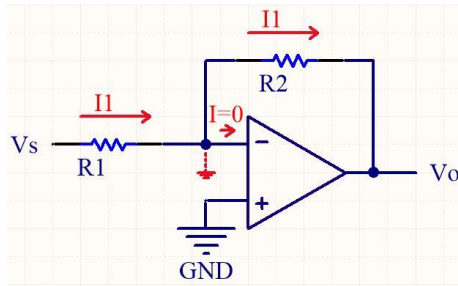
$$V^+ - V^- = \frac{V_o}{A \nearrow \infty} = 0$$

$$V^+ = V^-$$

Ako je operacioni pojačavač idealan, postoji jednakost potencijala na ulazu.

### Primer 1. Invertujući pojačavač

Odrediti naponsko pojaćanje  $A_v$  za kolo sa slike.



$$A \rightarrow \infty \Rightarrow V^+ = V^-$$

$$R_i \rightarrow \infty \Rightarrow I = 0$$

$$I_1 = \frac{V_s - 0}{R_1} = \frac{0 - V_o}{R_2}$$

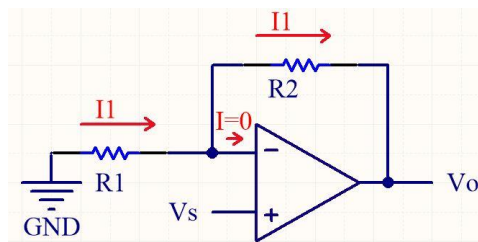
$$\frac{V_s}{R_1} = -\frac{V_o}{R_2}$$

$$\frac{V_o}{V_s} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = -\frac{R_2}{R_1}$$

## Primer 2. Neinvertujući pojačavač

Odrediti naponsko pojačanje  $A_v$  za kolo sa slike.



$$A \rightarrow \infty \Rightarrow V^+ = V^-$$

$$I_1 = \frac{0 - V_s}{R_1} = \frac{V_s - V_o}{R_2}$$

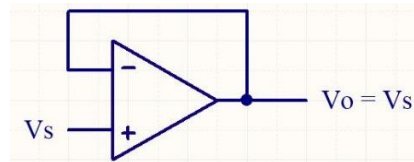
$$\frac{V_o}{R_2} = \frac{V_s}{R_2} + \frac{V_s}{R_1}$$

$$V_o = R_2 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \cdot V_s$$

$$V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot V_s$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

### Primer 3. Bafer - jedinični pojačavač

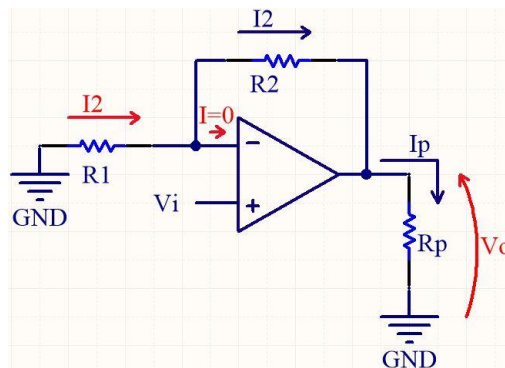


Bafer se koristi kao razdvojni stepen, jer ne opterećuje  $V_s$ , a signal sa ulaza prenosi na izlaz sa jediničnim pojačanjem.

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = 1$$

Primer 4: Za kolo sa operacionim pojačavačem na slikama pod a i b odrediti struje  $I_2$  i  $I_p$  ako je  $V_i = 3V$ ,  $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 20\text{ k}\Omega$  i  $R_p = 2\text{ k}\Omega$ .

a)



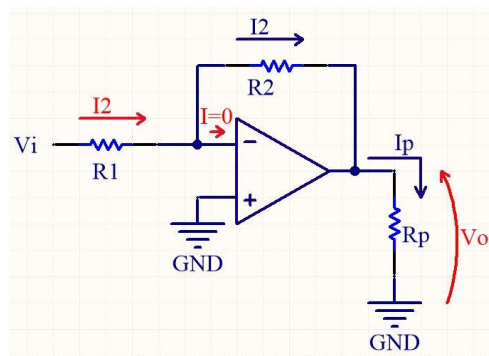
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$V_o = V_i \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 3 \cdot \left(1 + \frac{20}{10}\right) = 9V$$

$$I_p = \frac{V_o}{R_p} = 4.5\text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{0 - V_o}{R_1 + R_2} = -0.3\text{ mA}$$

b)



$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

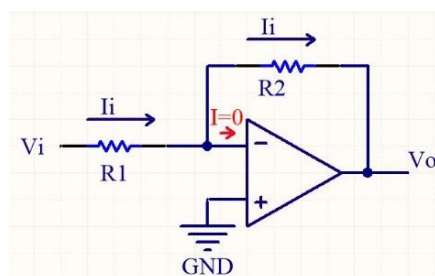
$$V_o = V_i \cdot \left(-\frac{R_2}{R_1}\right) = 3 \cdot \left(-\frac{20}{10}\right) = -6V$$

$$I_p = \frac{V_o}{R_p} = -3 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{V_i - V_o}{R_1 + R_2} = 0.3 \text{ mA}$$

Primer 5: Odrediti ulaznu impedansu pojačavača sa slika pod a i b.

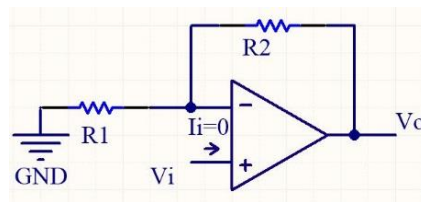
a)



$$I_i = \frac{V_i}{R_1}$$

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{\frac{V_i}{R_1}} = R_1$$

b)

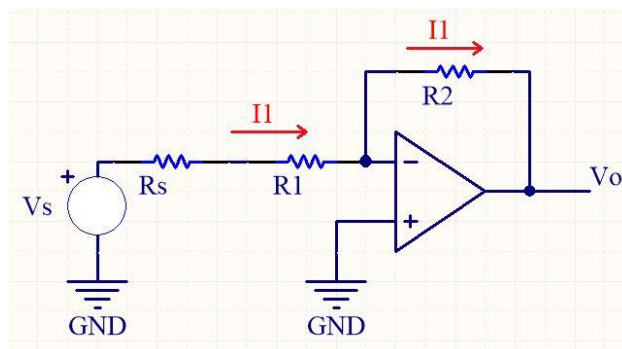


$$R_i = \frac{V_i}{I_i \nearrow 0} = \infty$$

Kao što se vidi iz prethodnih primera, ulazna impedansa kod neinvertujućeg pojačavača je beskonačna, za razliku od invertujućeg, čija ulazna impedansa je određena otpornikom  $R_1$ . Upravo iz tog razloga bolji je neinvertujući pojačavač jer on ne opterećuje ulaz. To će se jasno videti u sledećem primeru.

**Primer 6:** Za kolo sa slika pod a i b odrediti izlazni napon  $V_o$  u zavisnosti od ulaznog napona  $V_s$ . Ulazni napon  $V_s$  predstavlja signal sa senzora izlazne otpornosti  $R_s$ . Neka je  $V_s = 1V$ ,  $R_s = 100 \Omega$ .

a)  $R_1 = 1 k\Omega$ ,  $R_2 = 10 k\Omega$



$$I_1 = \frac{V_s}{R_s + R_1} = \frac{0 - V_o}{R_2}$$

$$\frac{V_s}{R_s + R_1} = -\frac{V_o}{R_2}$$

$$\frac{V_o}{V_s} = -\frac{R_2}{R_s + R_1}$$

Po formuli za invertujući pojačavač pojačanje bi trebalo da bude:

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1} = -10$$

$$V_o = -10 \cdot 1V = -10V$$

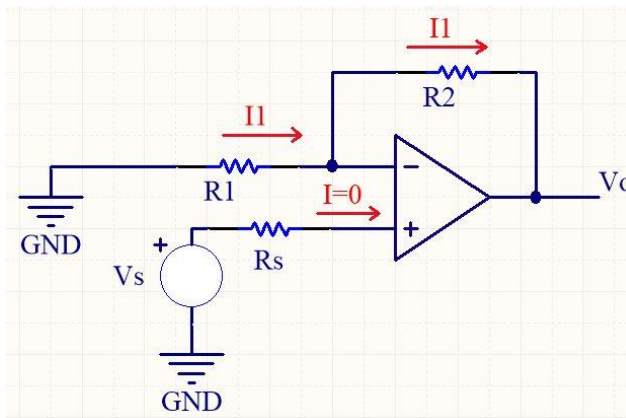
Međutim, ukoliko je  $R_s = 100 \Omega$  pojačanje će biti:

$$A_v = -\frac{R_2}{R_s + R_1} = -9.09$$

$$V_o = -9.09 \cdot 1V = -9.09 V$$

Dakle, pojačanje je manje nego što bi trebalo da bude (nego što je željeno), pa je i samim tim izlazni napon manji.

b)  $R_1 = 1 k\Omega, R_2 = 9 k\Omega$



$$I_1 = \frac{0 - V_s}{R_1} = \frac{V_s - V_o}{R_2}$$

$$V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot V_s$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

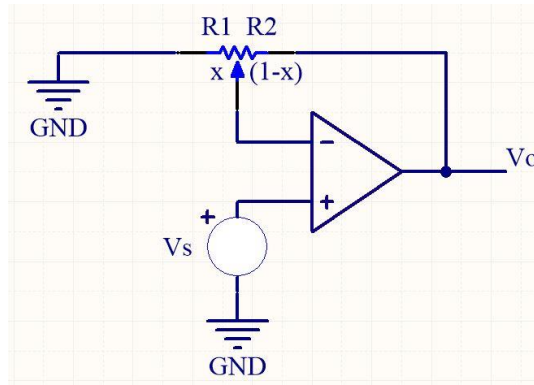
$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$A_v = 1 + \frac{9 k\Omega}{1 k\Omega} = 10$$

$$V_o = 10 \cdot 1V = 10V$$

Bez obzira kolika je izlazna otpornost senzora, pojačanje je uvek isto. Dakle, bolji je neinvertujući pojačavač, jer ne opterećuje ono što je na ulazu. Iz ovog primera je to očigledno. Međutim, upotrebom bafera (između senzora i invertujućeg pojačavača) i pojačanje invertujućeg pojačavača u tom slučaju isključivo zavisi od otpornika  $R_2$  i  $R_1$ , jer na taj način invertujući pojačavač više ne opterećuje ono što je na ulazu.

**Primer 7:** Kolo sa slike koristi potencijometar od  $10 k\Omega$  da se napravi pojačavač sa promenljivim pojačanjem. Izvesti izraz za pojačanje  $A_v$  u funkciji  $x$ . Koliki je opseg pojačanja?



$$R_1 + R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = x \cdot 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = (1 - x) \cdot 10 \text{ k}\Omega$$

Za  $x = 0$ :

$$R_1 = 0$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

Za  $x = 1$ :

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 0$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{(1 - x) \cdot 10 \text{ k}\Omega}{x \cdot 10 \text{ k}\Omega} = 1 + \frac{1 - x}{x} = \frac{1}{x}$$

$$x = 0 \Rightarrow A_v = \infty$$

$$x = 1 \Rightarrow A_v = 1$$

$$x \in [0, 1] \Rightarrow A_v \in [1, \infty)$$