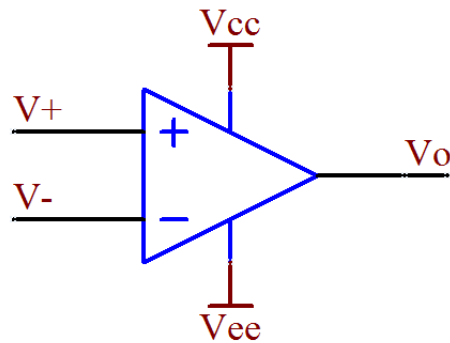


Kola sa operacionim pojačavačima

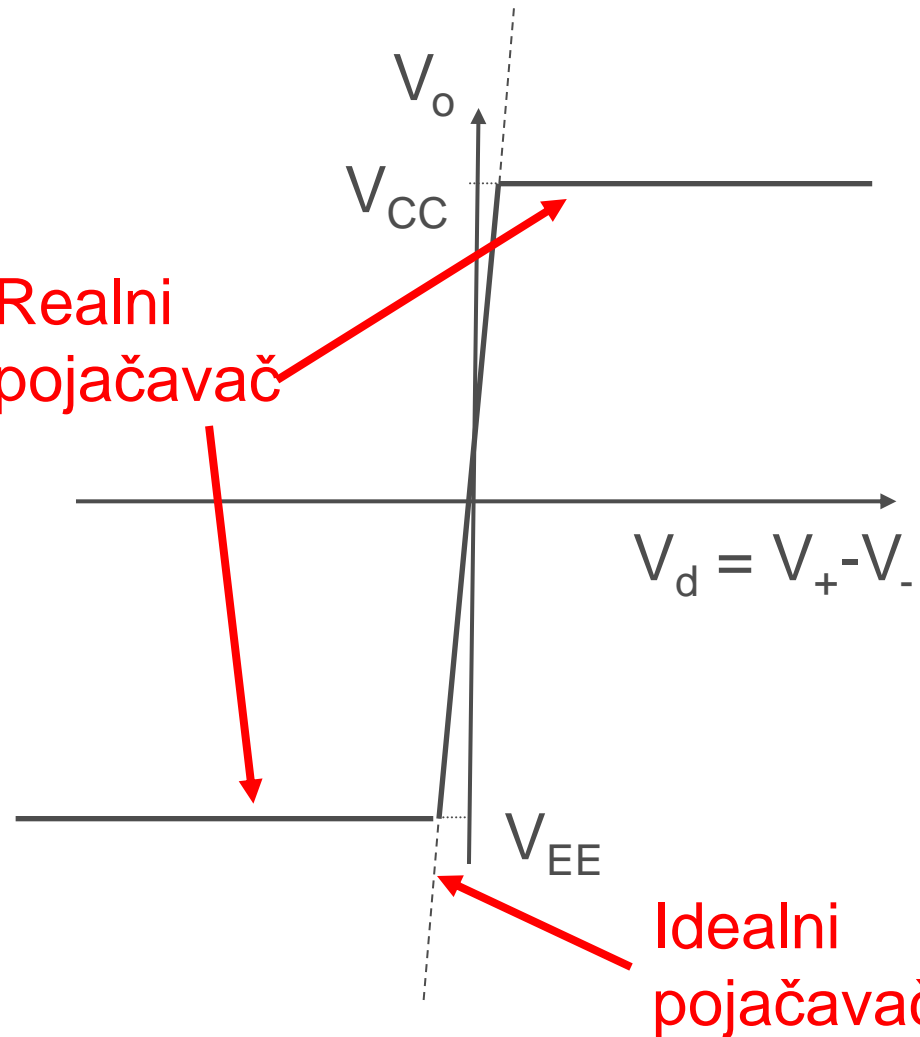
Katedra za elektroniku

Operacioni pojačavači - uvod

Symbol OP



Realni
pojačavač

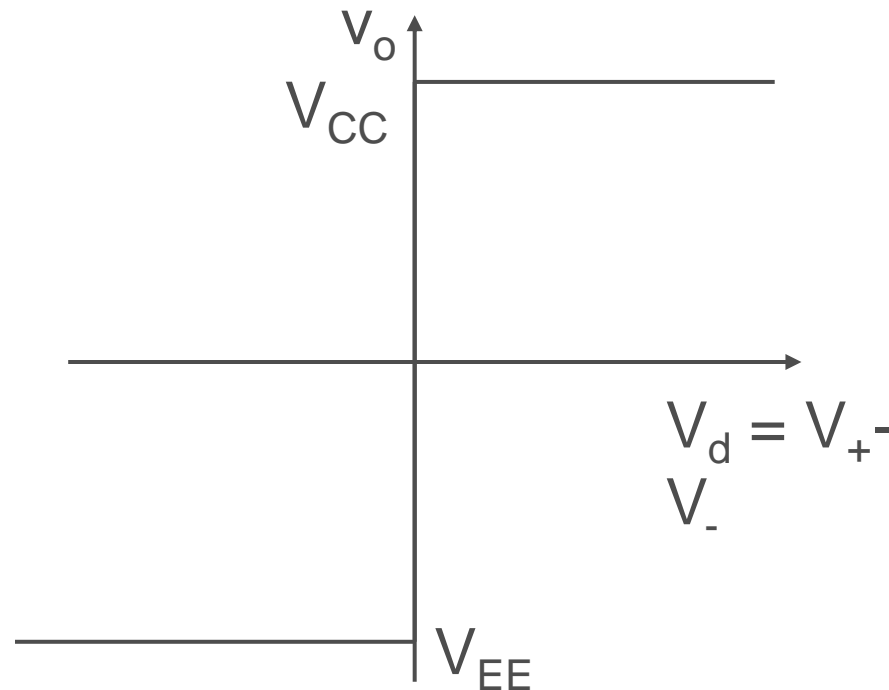


Prenosna karakteristika

Osobine idealnog OP

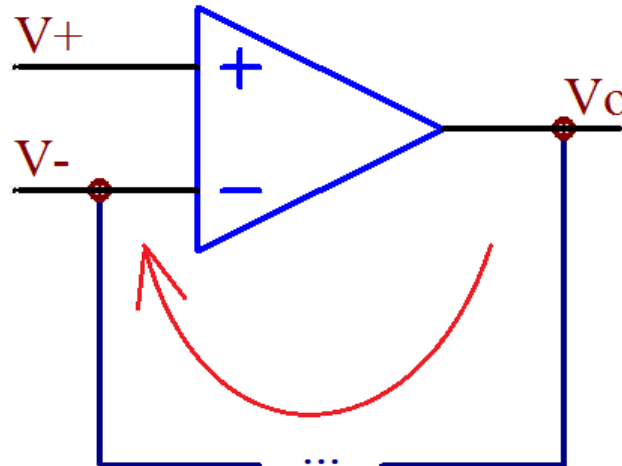
- $R_{IN} = \infty \Omega$ (ne postoje struje koje ulaze ili izlaze iz V_+ i V_-)
- $R_{OUT} = 0 \Omega$ (nema ograničenja izlazne struje)
- $A_V = \infty$ (beskonačno naponsko pojačanje)

U praksi, osobine realnih OP su približno jednake osobinama idealnog OP.



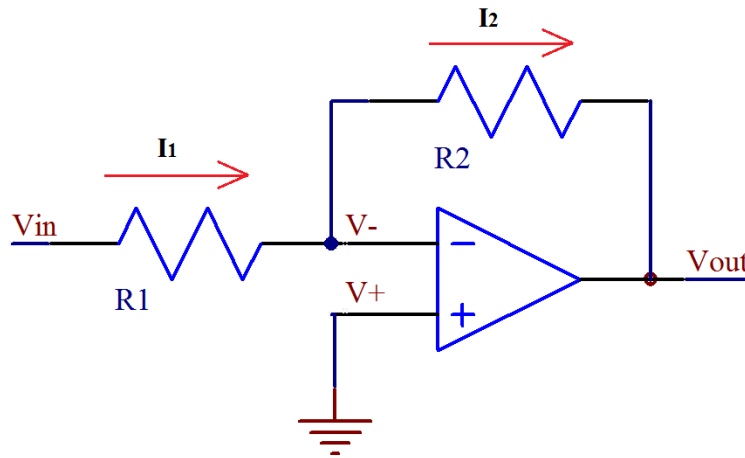
Negativna povratna sprega

- U svim kolima koja će ovde biti razmatrana, OP se koristi u konfiguraciji sa negativnom povratnom spregom.
- Negativna povratna sprega omogućava da se deo izlaznog signala vrati do invertujućeg ulaza (V_-).
- Najvažnija osobina negativne povratne sprege je da dovodi do toga da naponi na invertujućem i neinvertujućem ulazu budu približno jednaki ($V_+ \approx V_-$).



Invertujući pojačavač

Pronaći naponsko pojačanje A_v za kolo prikazano na slici:



$$I_2 = I_1$$

$$I_1 = \frac{V_{in} - V_-}{R_1} = \frac{V_{in}}{R_1}$$

$$V_- - R_2 \cdot I_2 - V_{out} = 0 \Rightarrow V_{out} = -R_2 \cdot I_2$$

$$V_{out} = -R_2 \cdot \frac{V_{in}}{R_1}$$

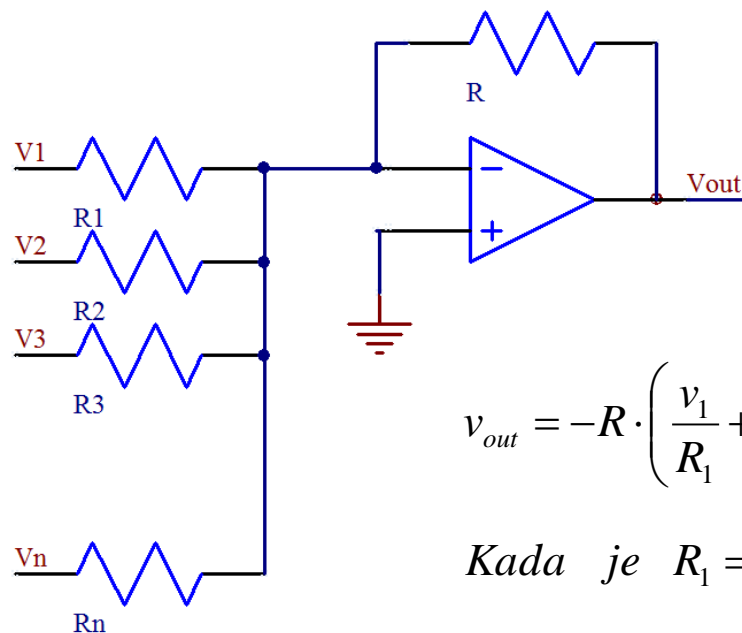
$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Ako se usvoje pretpostavke koje važe za idealan OP u prisustvu negativne povratne sprege, važi:

- Usled beskonačne ulazne otpornosti, struja na oba ulaza je jednaka nuli $\Rightarrow I_1 = I_2$
- Usled dejstva negativne povratne sprege, napon na V_- je približno jednak naponu na V_+ (tj. V_- je na “virtuelnoj masi”)

Naponsko pojačanje je negativno, otuda naziv **invertujući pojačavač**

Varijante invertujućeg pojačavača



$$v_{out} = -R \cdot \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \dots + \frac{v_n}{R_n} \right) = -R \cdot \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{R_i}$$

Kada je $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$:

$$v_{out} = -(v_1 + v_2 + \dots + v_n) = -\sum_{i=1}^n v_i$$

<-SABIRAČ

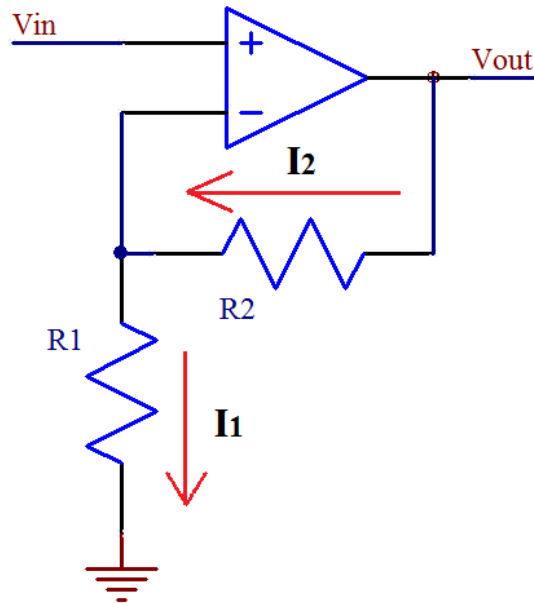
Kada je $R_1 = 2 \cdot R$, a $R_i = 2 \cdot R_{i-1}$ za $2 \leq i \leq n$:

$$v_{out} = -\sum_{i=1}^n \frac{v_i}{2^i}$$

<- D/A KONVERTOR (V1 JE MSB)

Neinvertujući pojačavač

Pronaći naponsko pojačanje A_v za kolo prikazano na slici:



$$R_{in} \rightarrow \infty \Rightarrow I_2 = I_1$$

$$V_- = V_+ = V_{in}$$

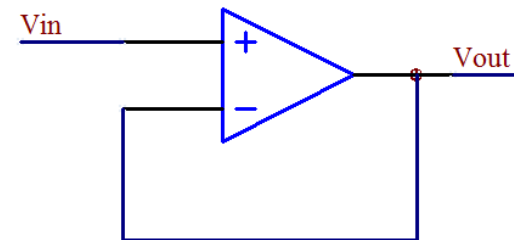
$$I_1 = \frac{V_{in}}{R_1}$$

$$V_{out} - R_2 \cdot I_2 - R_1 \cdot I_1 = 0$$

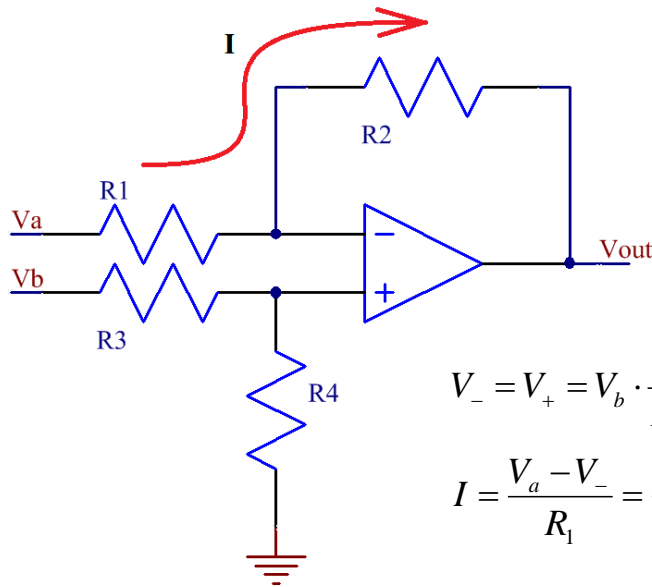
$$V_{out} = I_1 \cdot (R_1 + R_2) = \frac{V_{in}}{R_1} \cdot (R_1 + R_2)$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

- A_v je uvek veće od 0 => **neinvertujući pojačavač**
- Za $R_1 = \infty$ i $R_2 = 0$, $A_v = 1$ => **jedinični pojačavač (bafer)**



Diferencijalni pojačavač



$$V_- = V_+ = V_b \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$I = \frac{V_a - V_-}{R_1} = \frac{V_a \cdot (R_3 + R_4) - V_b \cdot R_4}{R_1 \cdot (R_3 + R_4)}$$

$$V_{out} = V_- - R_2 \cdot I = V_b \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{V_a \cdot (R_3 + R_4) - V_b \cdot R_4}{R_3 + R_4}$$

$$V_{out} = V_b \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} - V_a \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

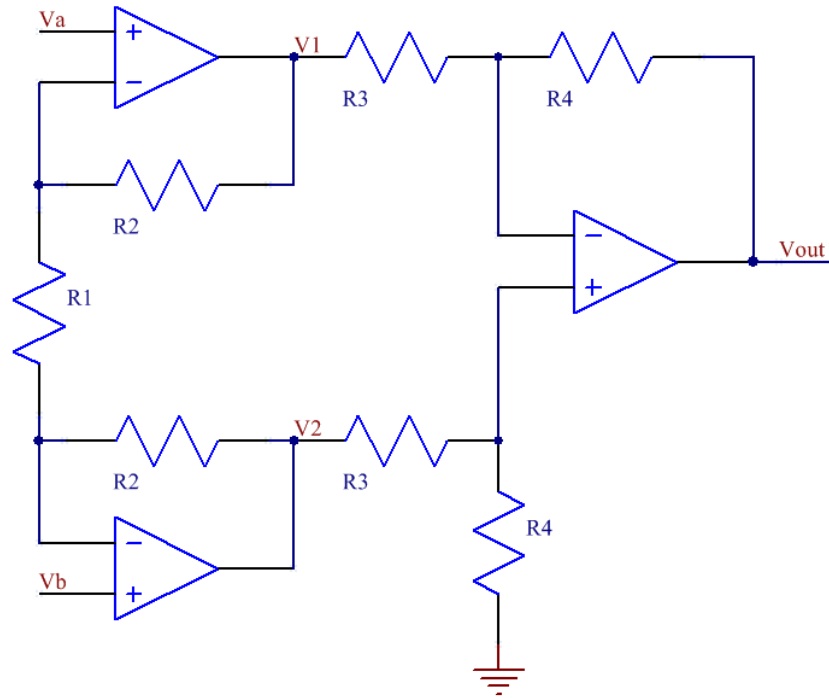
Kada je zadovoljeno da je $R_2/R_1 = R_4/R_3$:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \Rightarrow V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_2}{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot R_1} \cdot V_b - \frac{R_2}{R_1} \cdot V_a = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_b - V_a)$$

Izraz za izlazni napon pokazuje da kolo pojačava razliku ulaznih napona. => **DIFERENCIJALNI POJAČAVAČ**

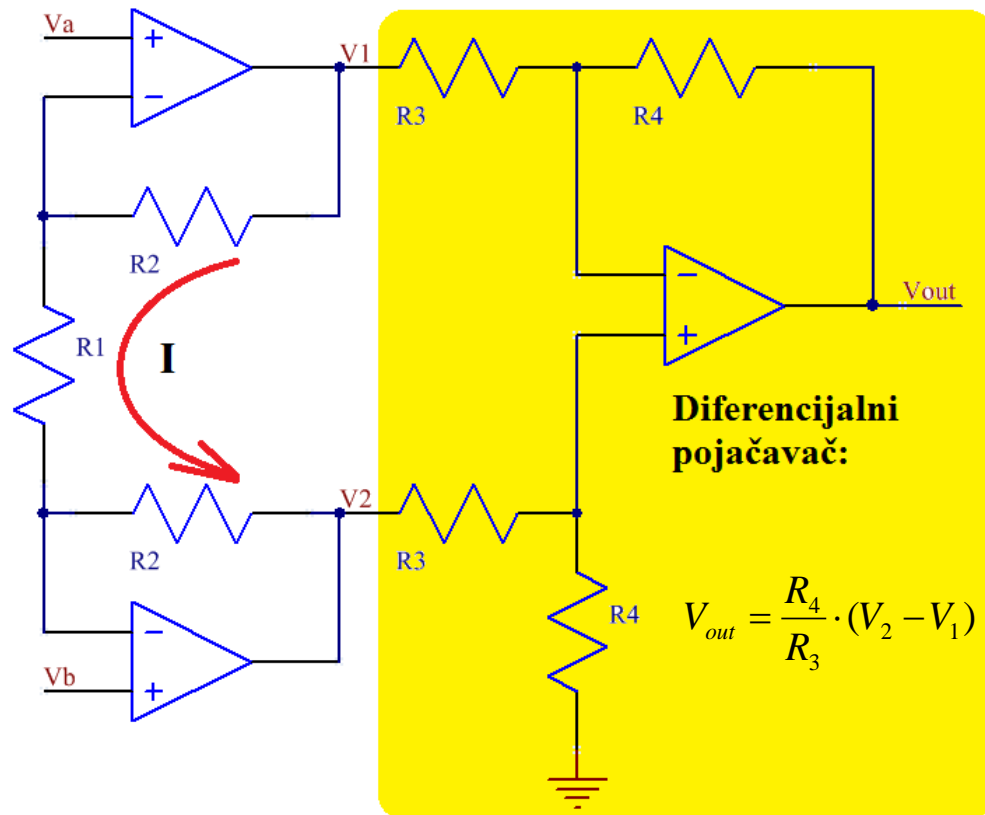
Instrumentacioni pojačavač

Pronaći izlazni napon V_{out} u funkciji od ulaznih napona V_a i V_b , za kolo prikazano na slici:



Ideja: desni deo seme ima strukturu diferencijalnog pojačavača. Potrebno je odrediti napone V_1 i V_2 , a zatim iskoristiti već izveden izraz za diferencijalni pojačavač.

Instrumentacioni pojačavač



$$I = \frac{V_a - V_b}{R_1}$$

$$V_1 - R_2 \cdot I - V_a = 0 \Rightarrow V_1 = V_a + \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_a - V_b)$$

$$V_b - R_2 \cdot I - V_2 = 0 \Rightarrow V_2 = V_b - \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_a - V_b)$$

$$V_{out} = \frac{R_4}{R_3} \cdot (V_2 - V_1) = \frac{R_4}{R_3} \cdot \left(1 + 2 \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot (V_b - V_a)$$

Zadatak 1

Odrediti prenosnu karakteristiku $V_{out} = f(V_{in})$ za kolo prikazano na slici, a zatim odrediti vrednost otpornika R_6 , tako da je naponsko pojačanje $A_v=4$.

