

Uvod u elektroniku
13E041UE

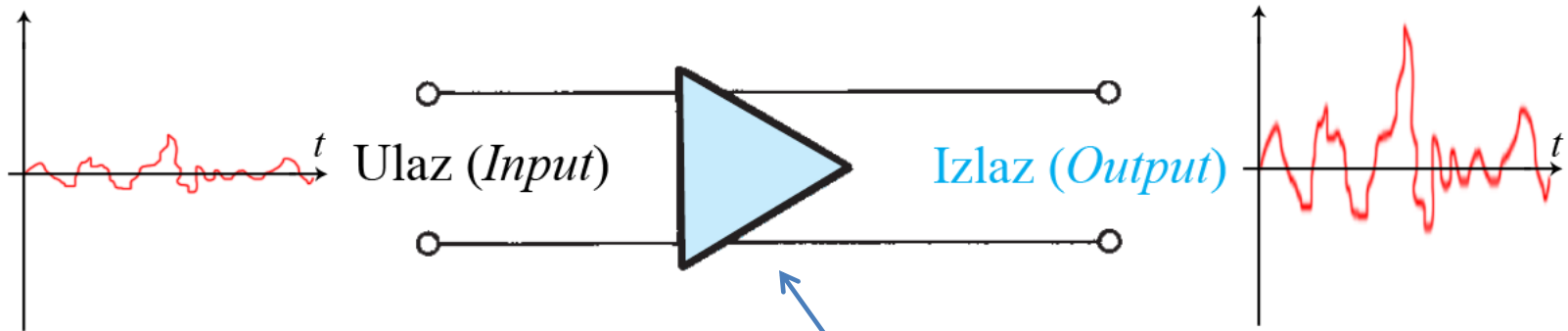
POJAČAVAČI

Cilj predavanja:

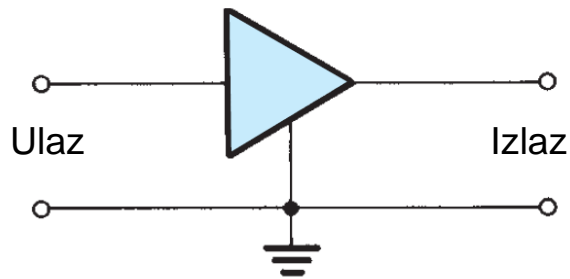
Upoznavanje sa funkcijom, osnovnim karakteristikama i primenom pojačavača. Analiza kola sa idealnim operacionim pojačavačem.

Šta je pojačavač?

- Elektronsko kolo (sistem) koje pojačava električni signal



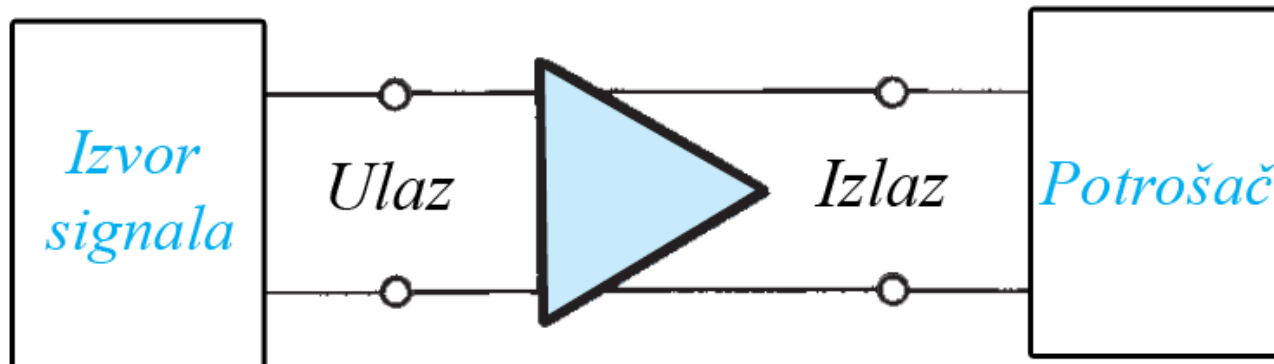
Grafički simbol za pojačavač



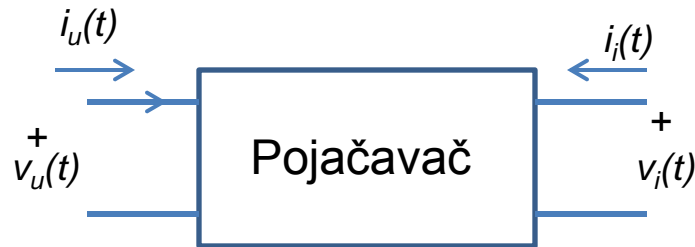
Česta konfiguracija - pojačavač kod koga su jedan ulazni i jedan izlazni priključak zajednički i najčešće povezan na tačku sa nultim potencijalom (masa, uzemljenje)

Povezivanje pojačavača

- **Izvor signala** (*source*) se povezuje na ulaz pojačavača
 - Element ili uređaj koji generiše signal (mikrofon, senzor temperature, senzor pritiska...), generator električnih signala, izlaz drugog električnog kola...
- **Potrošač** (*load*) se povezuje na izlaz pojačavača
 - Komponenta ili uređaj koji prima i koristi pojačan signal (zvučnik, antena, ulaz drugog električnog kola,...)



Osnovne karakteristike pojačavača



Naponsko pojačanje pojačavača definisano je odnosom promena napona na izlazu i napona na ulazu

$$A_v = \frac{\Delta v_I}{\Delta v_U}$$

ili odnosom malih promenljivih signala na izlazu i ulazu

$$A_v = \frac{v_i}{v_u}$$

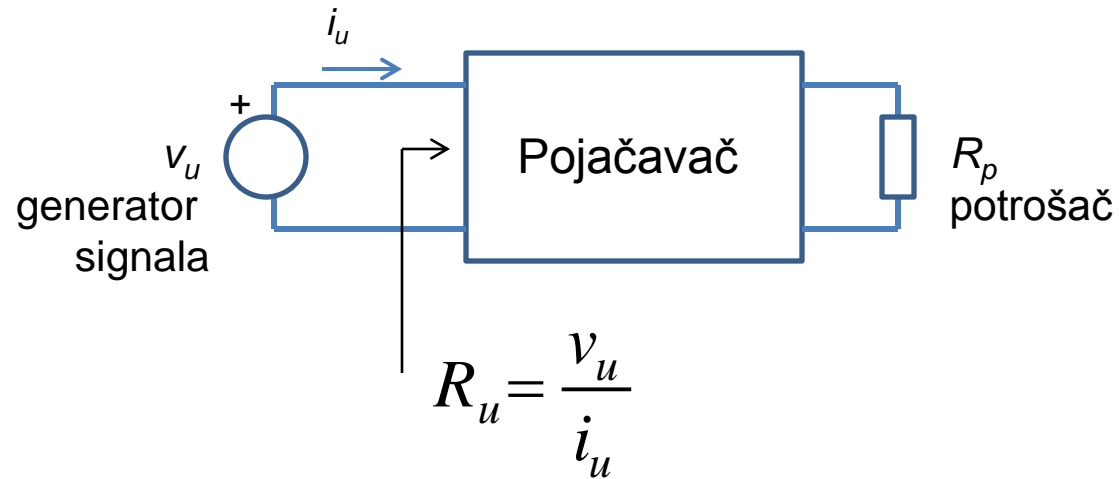
Ako je veza izlaznog i ulaznog napona linearna, tj. ako je A_v konstanta, pojačavač je linearan.

Kod pojačavača se definiše i strujno pojačanje A_i i pojačanje snage A_p

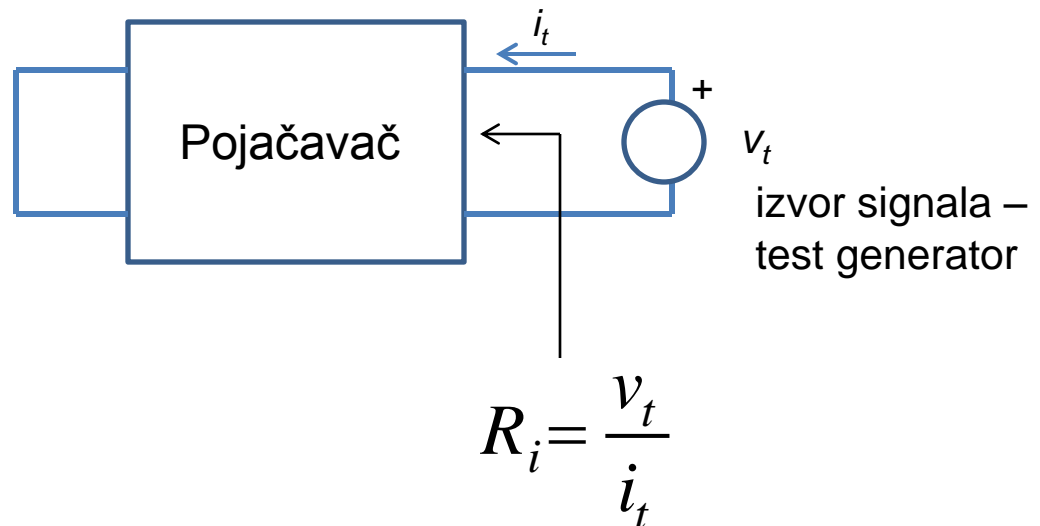
$$A_i = \frac{i_i}{i_u} \quad A_p = \frac{P_i}{P_u}$$

Osnovne karakteristike pojačavača, nastavak

Ulazna otpornost



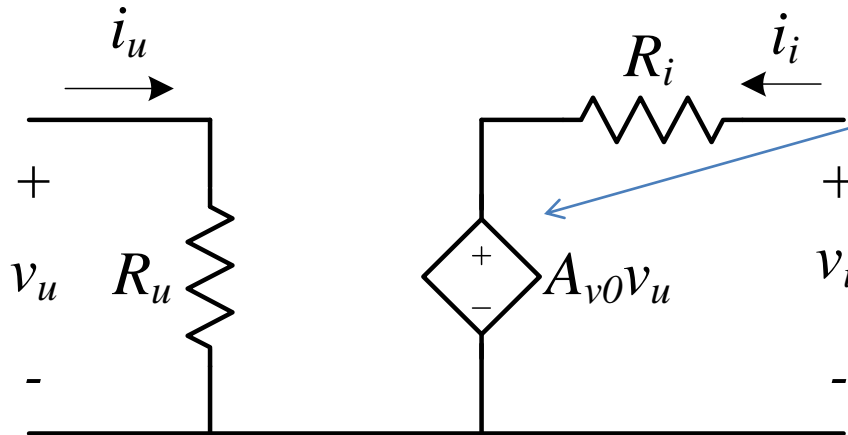
Izlazna otpornost



Ekvivalentno kolo pojačavača

U elektronici se pojedine elektronske komponente i kola, kao što je npr. pojačavač, predstavljaju modelom (ekvivalentnim kolom) kako bi se olakšala analiza i proračun. Ekvivalentno kolo zadržava sve karakteristike elektronske komponente ili kola na koje se odnosi.

Ekvivalentno kolo pojačavača



Zavisni naponski izvor; ne može se uklanjati iz kola.

R_u – ulazna otpornost, otpornost koja se “vidi” kada se gleda u ulaz

R_i – izlazna otpornost, otpornost koju “vidi” potrošač

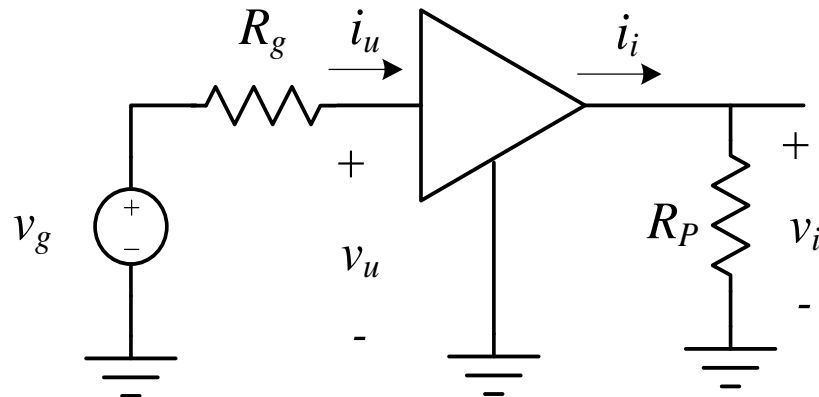
A_{v0} – naponsko pojačanje otvorenog kola (pojačanje bez potrošača)

Pojačanje realnog i idealnog pojačavača

Pojačanje kada je izvor signala idealan i kada na izlaz nije povezan potrošač (otvoreno kolo)

$$A_v = A_{v0} = \frac{v_i}{v_u}$$

Pojačanje kada se na ulaz poveže realan naponski izvor signala i na izlaz poveže potrošač



$$v_u = \frac{R_u}{R_u + R_g} v_g$$

$$v_i = \frac{R_P}{R_P + R_i} A_{v0} v_u$$

$$A_v = \frac{v_i}{v_g} = \frac{R_u}{R_u + R_g} \frac{R_P}{R_P + R_i} A_{v0}$$

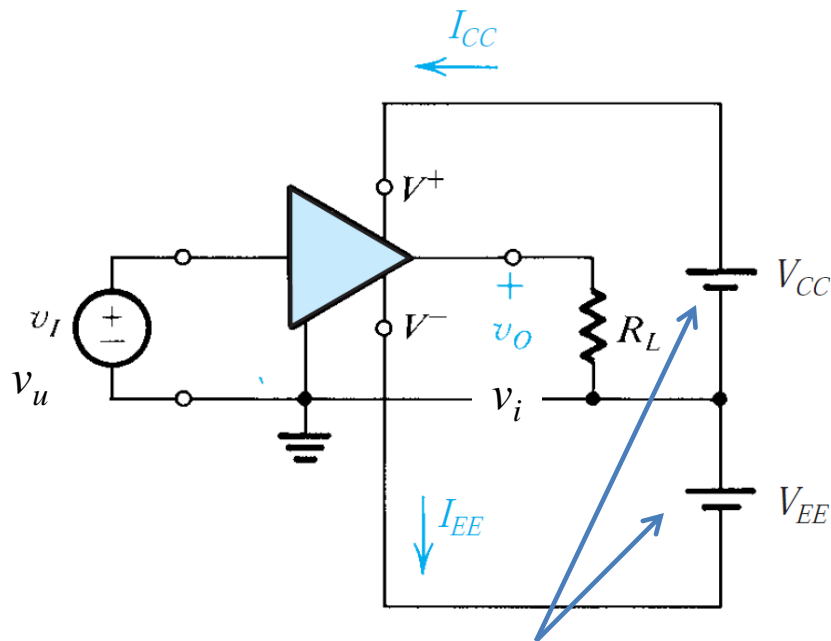
Ako je pojačavač idealan (R_u beskonačno veliko i $R_i=0$) onda je

$$A_v = \frac{v_i}{v_g} = A_{v0}$$

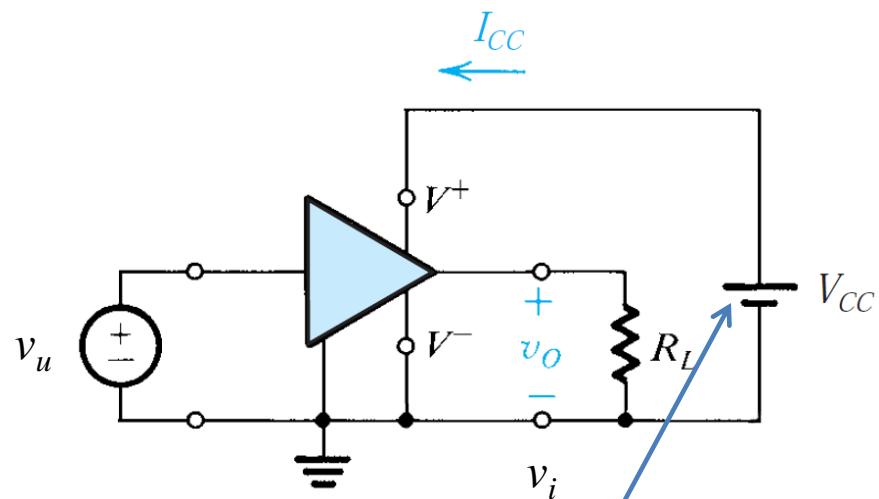
Napajanje pojačavača

Za napajanje pojačavača se koristi jednosmerni izvor napajanja jednog ili oba polariteta.

Energija signala se povećava jer pojačavač crpi energiju iz jednosmernog izvora napajanja.



Izvor napajanja oba polariteta (dve baterije)

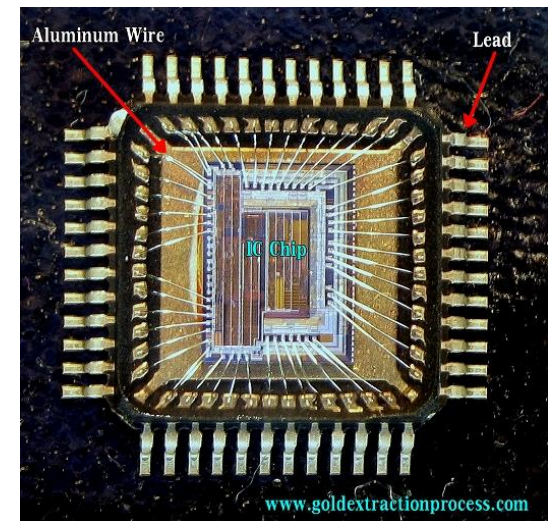
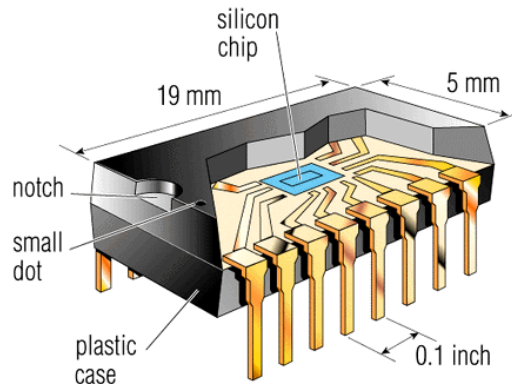
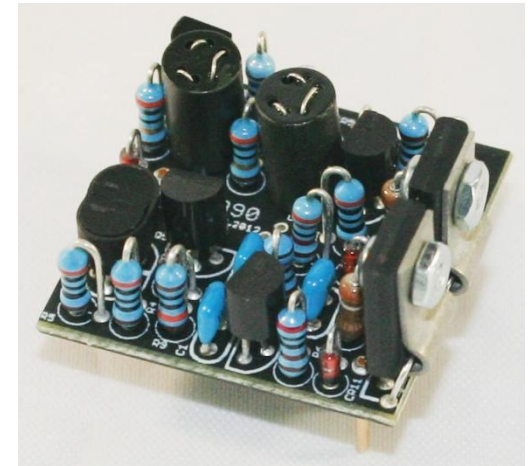


Za napajanje se koristi jedna baterija (ili izvor napajanja jednog polariteta)

Amplituda signala na izlazu pojačavača ne može biti veća od V_{CC} niti manja od $-V_{EE}$. Kada amplituda signala na izlazu dostigne maksimalnu ili minimalnu moguću vrednost kaže se da je pojačavač ušao u zasićenje i on više ne radi kao pojačavač!.

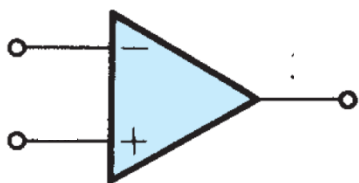
Realizacija pojačavača

- Pojačavači realizovani pomoću diskretnih komponenti
(tranzistora, otpornika, kondenzatora...)
- Integrirani pojačavači
pojačavači integrirani u jednom u čipu
(integriranom kolu)



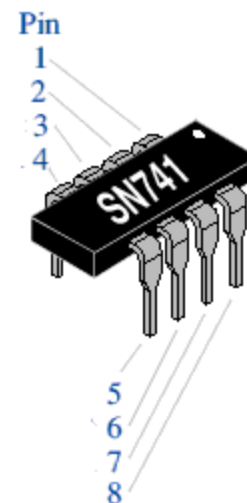
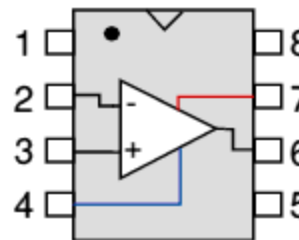
Operacioni pojačavač

- Najvažniji element u analognoj obradi signala
- Sastoji se od nekoliko pojačavačkih stepena povezanih na red (kaskadno). Ovi pojačavački stepeni realizovani su pomoću tranzistora.
- Dobar operacioni pojačavač ima veoma veliko naponsko pojačanje, veliku ulaznu i malu izlaznu otpornost.
- Operacioni pojačavači se proizvode isključivo tehnikom integrisanana kola, vrlo su pouzdani i imaju nisku cenu.



Grafički simbol za operacioni pojačavač

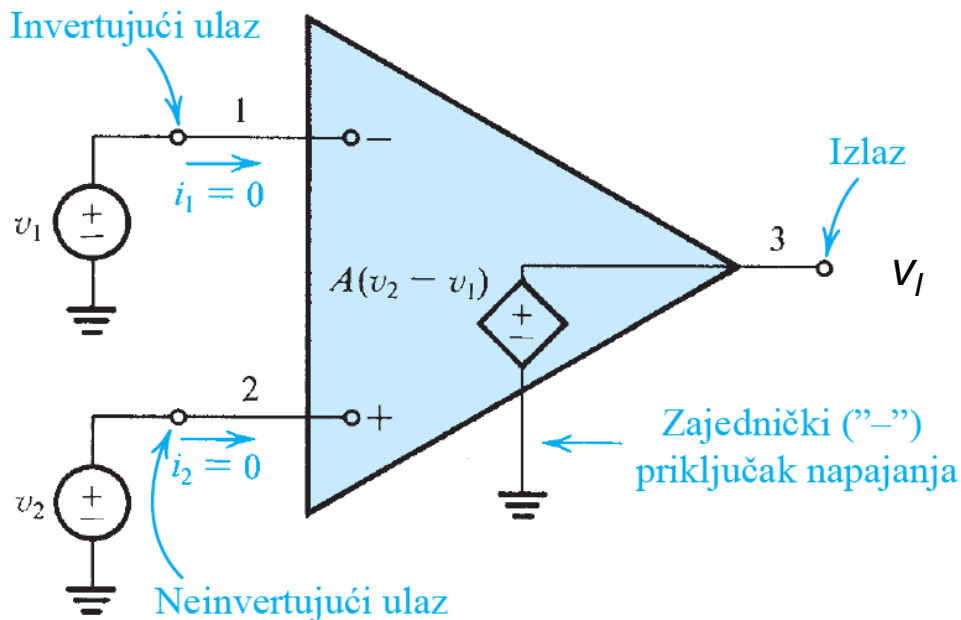
- invertujući ulaz
- + neinvertujući ulaz



Idealni operacioni pojačavač

Idealni operacioni pojačavač ima:

- beskonačno veliko pojačanje $A = \infty$
- beskonačno veliku ulaznu otpornost $R_U = \infty$
- izlaznu otpornost jednaku 0, $R_I = 0$,
- beskonačno veliki faktor potiskivanja signala srednje vrednosti, $\rho = \infty$ *



Ako je $A = \infty$, onda je

$$v_1 - v_2 = \frac{v_I}{A} = 0$$

Iz čega sledi:

$$v_I = v_2$$

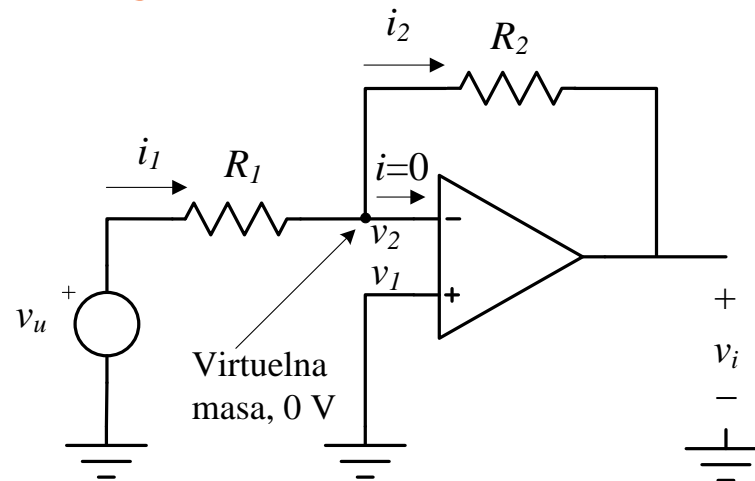
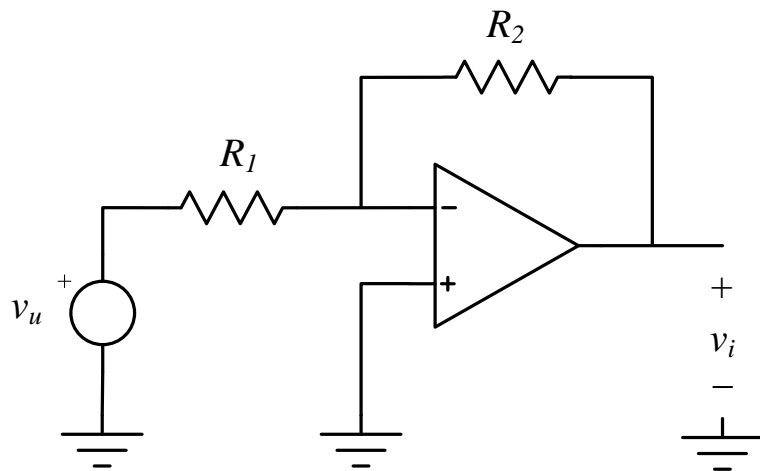
Ako je $R_U = \infty$, onda je

$$i_1 = i_2 = 0$$

*) Signal srednje vrednosti $v_S = (v_I + v_2)/2$

Kola sa operacionim pojačavačima

Invertujući pojačavač



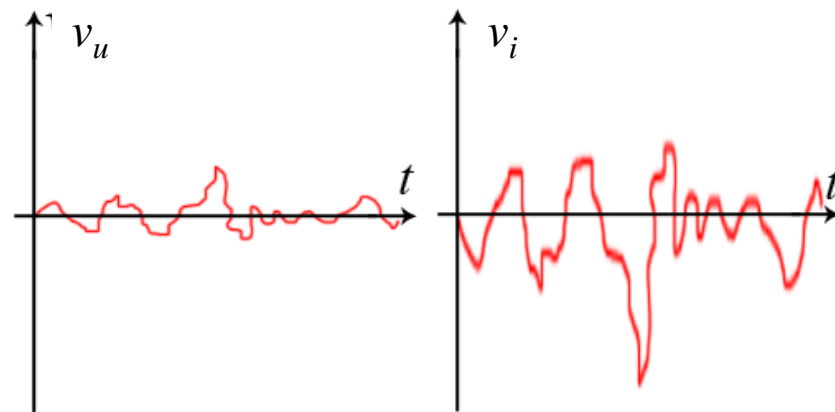
$$i_1 = \frac{v_u - v_2}{R_1} = \frac{v_u - 0}{R_1} = \frac{v_u}{R_1}$$

$$v_i = v_2 - R_2 i_1 = 0 - R_2 \frac{v_u}{R_1}$$

Naponsko pojačanje

$$A_v = \frac{v_i}{v_u} = -\frac{R_2}{R_1}$$

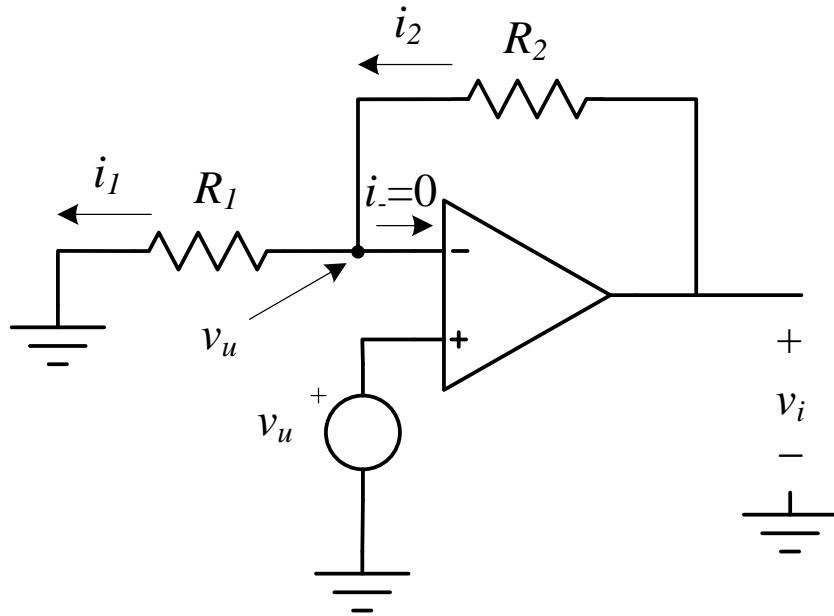
invertujući pojačavač!



$$R_u = \frac{v_u}{i_u} = R_1$$

$$R_i = 0_1$$

Neinvertujući pojačavač



$$i_1 = \frac{v_u - 0}{R_1} = \frac{v_u}{R_1}$$

$$v_i = v_u + R_2 i_1 = v_u + R_2 \frac{v_u}{R_1}$$

Naponsko pojačanje

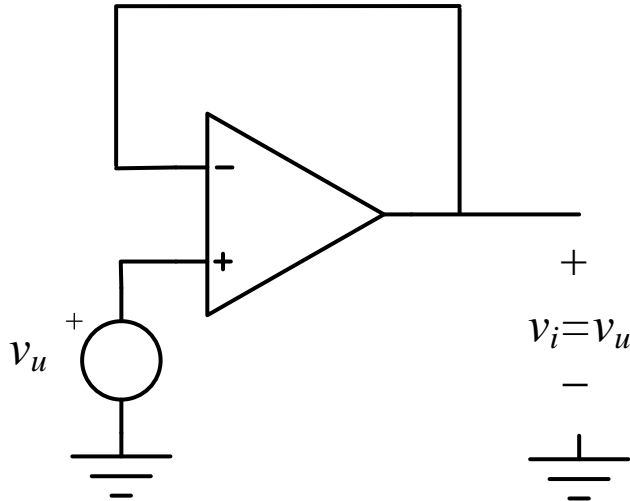
$$A_v = \frac{v_i}{v_u} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Ulazna i izlazna otpornost

$$R_u = \infty$$

$$R_i = 0$$

Jedinični bafer



Naponsko pojačanje

$$A_v = \frac{v_i}{v_u} = 1$$

Neinvertujući pojačavač sa jediničnim pojačanjem.

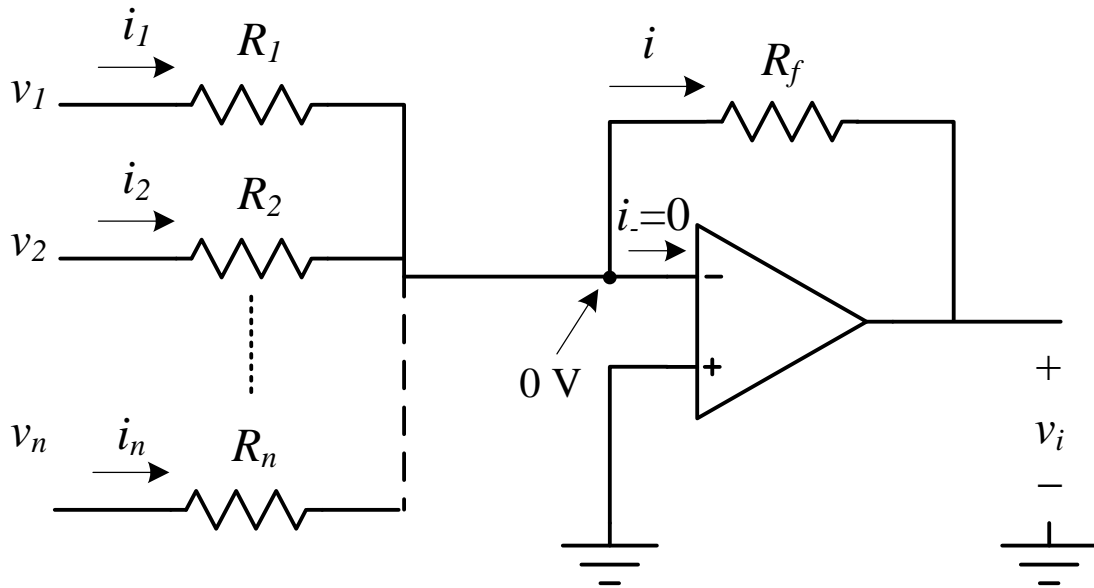
Koristi se kao razdvojni stepen, kada se povezuje izvor koji ima veliku izlaznu otpornost na ulaz pojačavača male otpornosti, da ne bi došlo do slabljenja signala. Ponaša se kao transformator otpornosti.

Ulazna i izlazna otpornost

$$R_u = \infty$$

$$R_i = 0$$

Sabirač



$$i_1 = \frac{v_1}{R_1}, i_2 = \frac{v_2}{R_2}, \dots, i_n = \frac{v_n}{R_n}$$

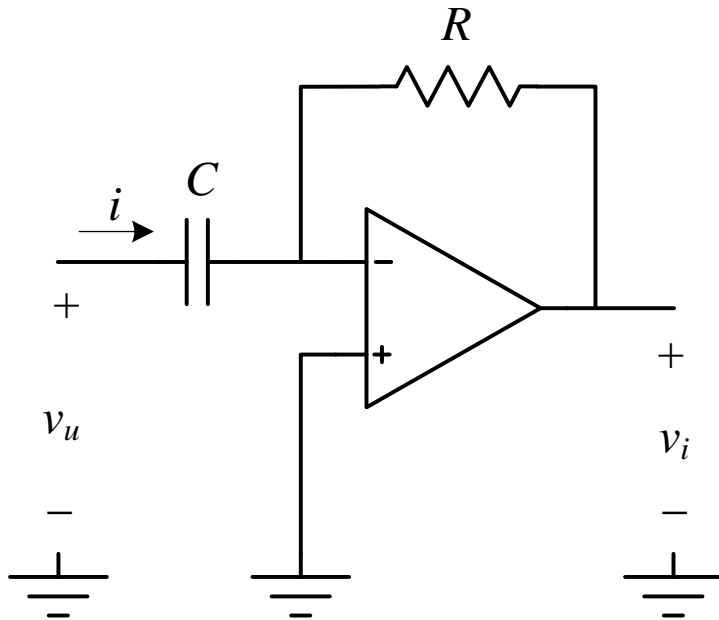
$$i = i_1 + i_2 + \dots + i_n$$

$$v_I = 0 - iR_f = -iR_f$$

$$v_I = -\left(\frac{R_f}{R_1} v_1 + \frac{R_f}{R_2} v_2 + \dots + \frac{R_f}{R_n} v_n \right)$$

Faktor skaliranja R_f/R_i ($i=1, 2, \dots, n$) može se nezavisno podesiti za svaki ulaz izborom odgovarajućih vrednosti otpornosti R_1, R_2, \dots, R_n .

Diferencijator



Analiza kola

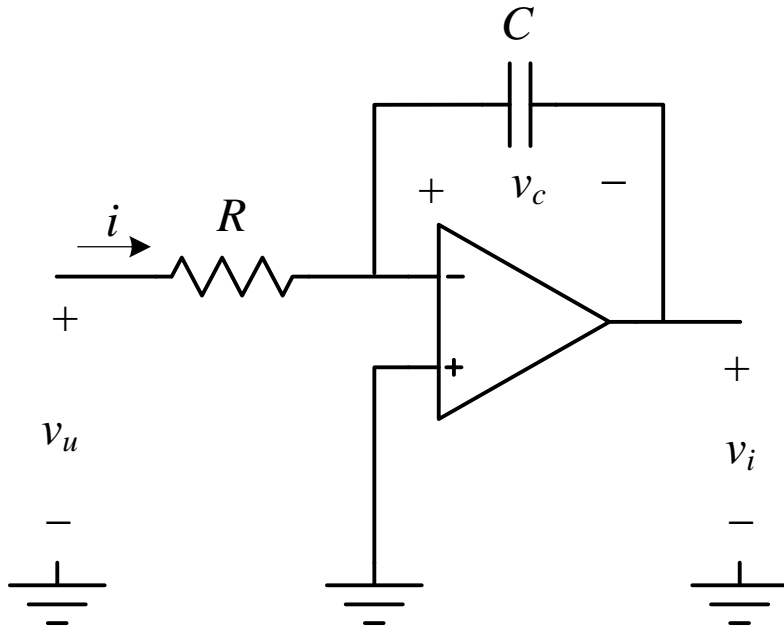
$$i_C(t) = C \frac{dv_u(t)}{dt}$$

$$v_i(t) = -Ri_C(t)$$

Napon na izlazu

$$v_i(t) = -RC \frac{dv_u(t)}{dt}$$

Integrator



$$i(t) = \frac{v_u(t)}{R}$$

Struja i teče i kroz C te je

$$v_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau + v_c(0)$$

$$v_i(t) = -v_c(t) = -\frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau - v_c(0)$$

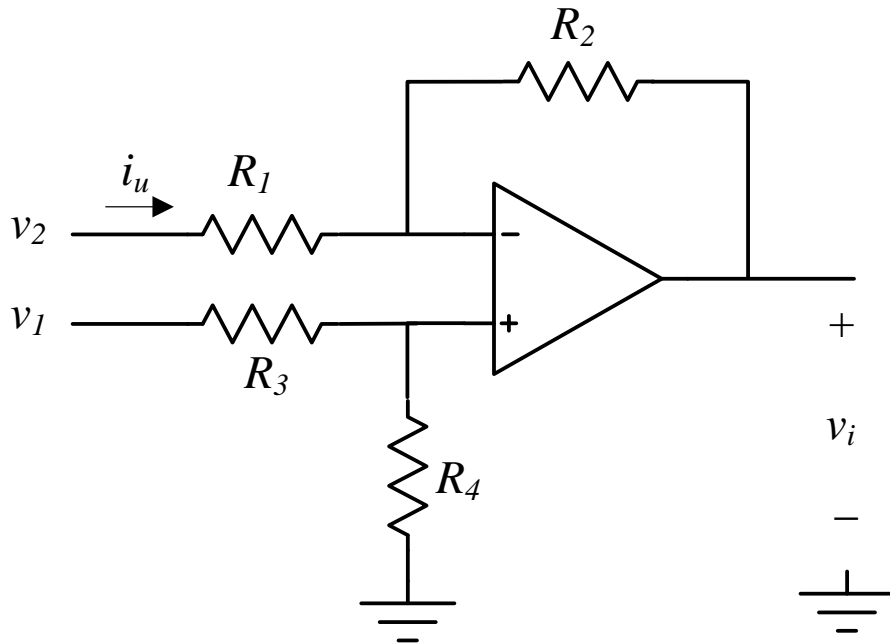
$$v_i(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_u(\tau) d\tau - v_c(0)$$

Ako je napon na kondenzatoru u početnom trenutku bio jednak nuli, $v_c(0)=0$, onda je napon na izlazu integratora

$$v_i(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_u(\tau) d\tau$$

Diferencijalni pojačavač

Diferencijalni pojačavač pojačava samo razliku signala $v_d = v_1 - v_2$



Primenom principa superpozicije na kolo sa slike, uz uslov

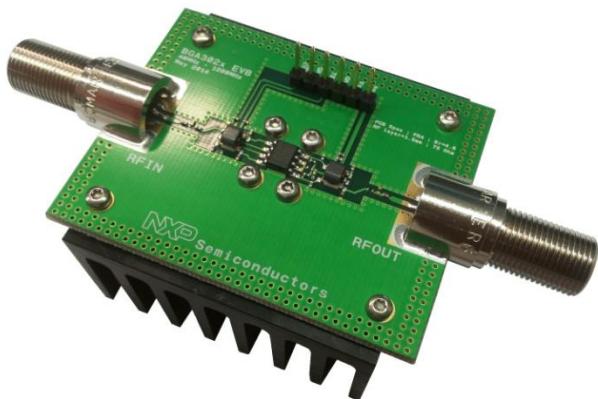
$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$$

lako se pokazuje da je

$$v_i = \frac{R_2}{R_1} v_d$$

Diferencijalni pojačavač potiskuje (slabi) signal srednje vrednosti $v_s = \frac{v_1 + v_2}{2}$

Primeri primene pojačavača



Pojačavač za kablovsku TV



Audio pojačavač



Pojačavači u predajnicima
bazne stanice
mobilne telefonije