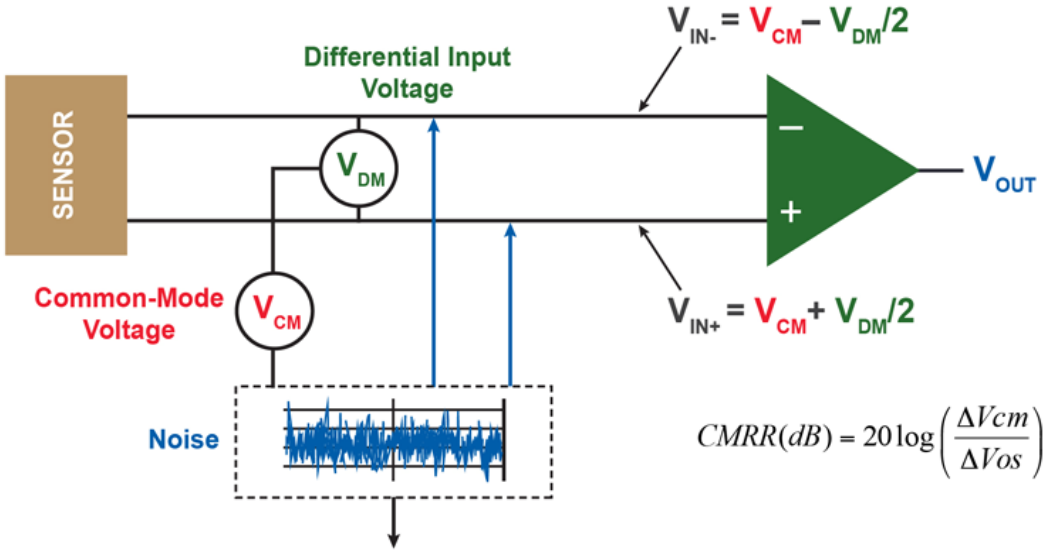
# Instrumentacioni pojačavač

# Instrumentacioni pojačavač

- **Instrumentacioni pojačavač** je je tip diferencijalnog pojačavača sa diferencijalnim ulazom i asimetričnim izlazom koji unutar sebe sadrži povratnu spregu.
- **Namena**: Najcešce se primenjuje za kondicioniranje signala i pojačanje malih signala. Tipična primena je pojačanje signala koji se se dobijaju na izlazu pretvarača nelektričnih veličina u električne signale - transdjusera. Performanse instrumentacionog pojačavača su optimizovane isključivo za akviziciju signala zbog čega ovo kolo nema veliku fleksibilnost primene.
- **Zahtevi:** Osnovna funkcija koju treba da ispuni instrumentacini pojačavač je da istovremeno pojača veoma mali ulazni signal (reda mikro volta) i potisne znatno veći signal srednje vrednosti (reda volta).

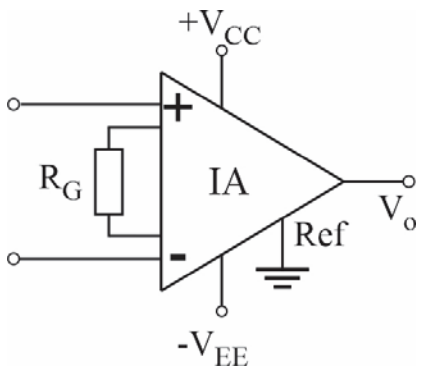



$$CMRR(dB) = 20\log\left(\frac{\Delta Vcm}{\Delta Vos}\right)$$

# Poređenje instrumentacionog pojačavača i operacionog pojačavača

Odlike instrumentacionog pojačavača po kojima se razlikuje od operacionog pojačavača:

1. Primenjuje internu povratnu spregu koja se realizuje otpornom mrežom.
2. Pojačanje nije veliko, promenjivo je i reguliše se spoljnjm otpornikom $R_G$.
3. Namenjen je isključivo pojačanju diferencijalnog signala, odnosno potiskuje srednju vrednost signala.




Odlike instrumentacionog pojačavača po kojima je sličan operacionom pojačavaču:

- Poseduje diferencijalni ulaz i asimetričan izlaz.
- Velika vrednost faktora potiskivanja, čije su tipične vrednosti 70 do 120dB.
- Vrlo velika ulazna impedansa. Ulazne impedanse su balansirane (izjednačene) i imaju veoma velike vrednosti koje su tipično u opsegu od $10^9$ Ω do $10^{12}$ Ω.
- Vrlo mala izlazna impedansa, koja je reda nekoliko mΩ.
- Male ulazne struje polarizacije, čija se tipična vrednost kreće od 1 nA do 50 nA

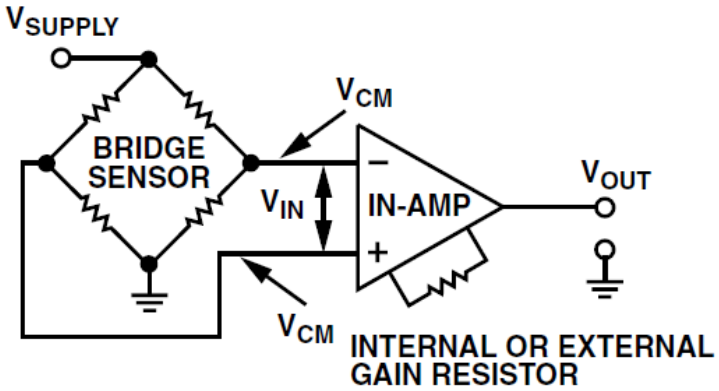
## Prednosti instrumentaionog pojačavača u primenama koje se odnose na akvizicju signala

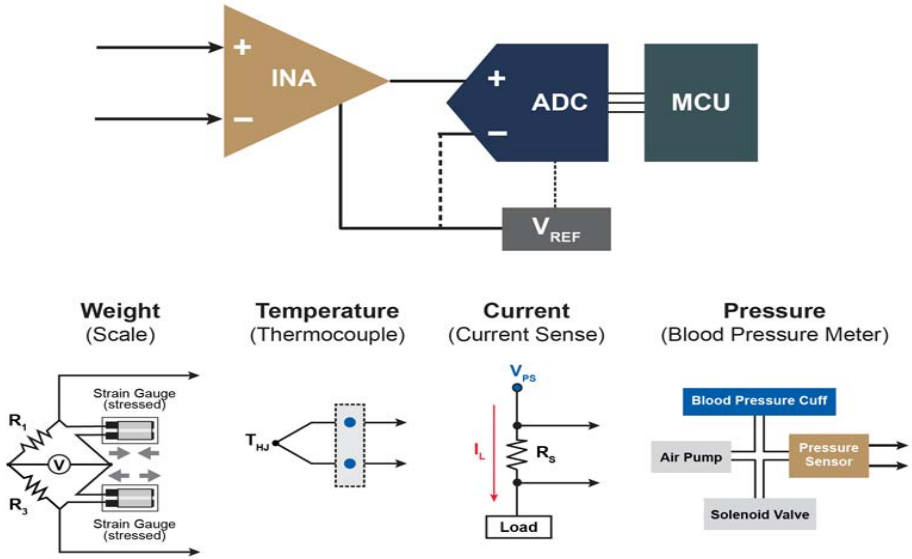
- Kola sa standardnim operacionim pojačavačima koriste spoljne otpornike za realizaciju negativne povratne sprege. Za razliku od operacionog pojačavača instrumentacioni pojačavač je kolo sa zatvorenom petljom, odnosno sadrži negativnu povratnu unutar integrisanog kola. Kod ovog kola poratna sprega se realizuje unutrašnjim otpornicima odvojenim od ulaza. Ovakva struktura instrumentacionog pojačavača pruža veću vrednost faktor poriskivanja zahvaljujući činjenici da otpornosti unutar integrisanog kola imaju manju toleranciju i mogu se lakše upariti u odnosu na spoljne otpornike.
- Kod instrumentacionih pojačvača realizovanih operacionimi pojačavačim i otpornicima visoka vrednost faktora potiskivanja, koja je neophodna u merenju signala, se može postići jedino preciznim uparivanjem otporosti po vrednostima i temperaturnim koeficijentima. To je često dugotrajan ili neizvodljiv proces.
- Vrednost pojačanja instrumentacionog pojačavača se može menjati u širokom opsegu pomoću jednog otpornika a da to nema uticaj na faktor potiskivanja za razliku od kola sa operacionim pojačavačima. Uobičajena vrednost maksimalnog pojačanja je oko 1000.

## Primene instrumentacionog pojačavača

▪ **Akvizicija podataka**. Instrumentacioni pojačavači se koristi za pojačavanje signala transdjusera (pretvarača nelektričnih veličina u električne signale).

Njihova prednost posebno dolazi do izražaja kada je signal transdjusera niskog nivoa i sa izraženim prisustvom šuma. Tipične primene su: merenja pritiska, naprezanja, temperature. Ovi transdjuseri se često koriste u kombinaciji sa otpornom mrežom u obliku mosta.

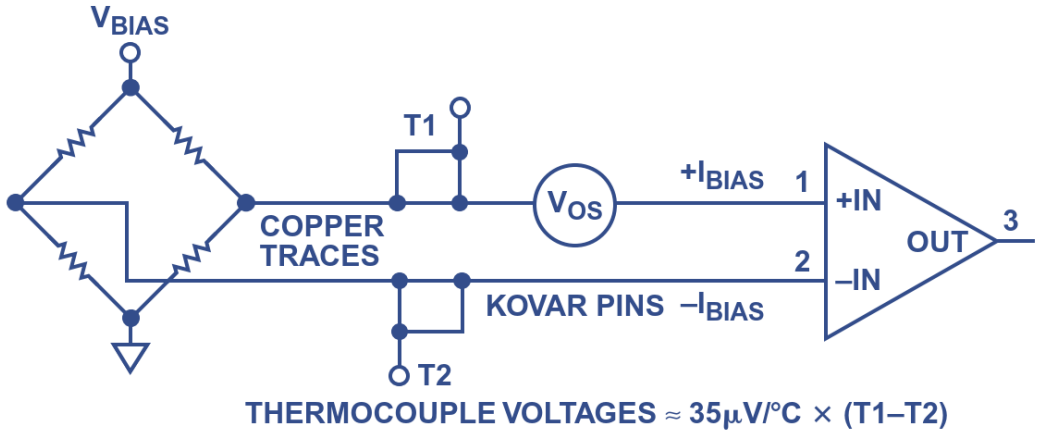


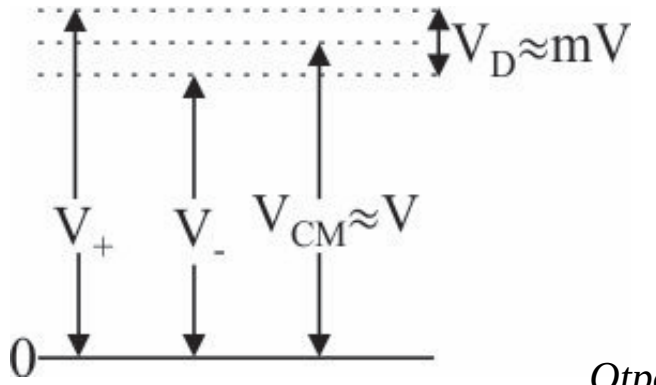



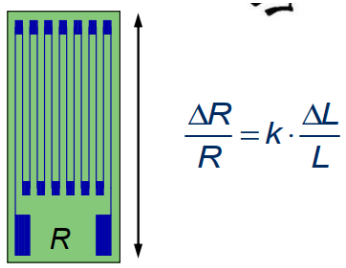
## Kondicioniranje podataka

▪ Signal na izlazu Witstonovog mosta je male vrednosti, reda mili volta, dok je srednja vrednost napona reda volta. Izdvajanje signala se obavlja primenom instrumentacionog pojačavača.

Prilikom akvizicije podataka poseban problem predstavlja prisutvo strujnog i naponskog ofseta. Kada se instrumentacioni pojačavač koristi za akviziciju podataka neophodno je uraditi kompoenzaciju naponskog ofseta trimerom koji je priključen na izvode integrisanog kola. Preciznija kompenazcija ofseta kao i kompenzacija uticaja temperature se može izvršiti i jednosmernim naponom koji generiše AD konvertor.

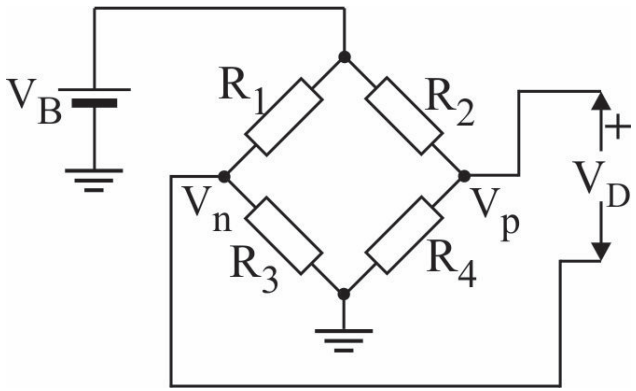



*Otporna merna traka (strain gage)*

U većini uređaja sa senzorima primenjuje se Witstonov most jer se njime mogu precizno izmeriti male promene otpornosti. Kada nastupi promena vrednosti merene veličine menja se otpornost trandjusera (otporna merna traka –*strain gage*, termistor) koja ima za posledicu promenu izlaznog napona mosta, $V_D$.




Napon na izlaznom pristupu Witstonovog mosta, $V_D$ je:

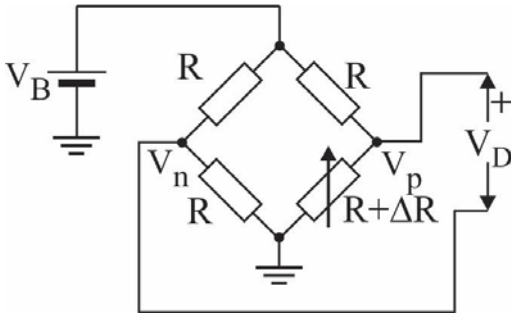
$$V_n = \frac{R_3}{R_1 + R_3} V_B$$

$$V_n = \frac{R_4}{R_4 + R_2} V_B$$

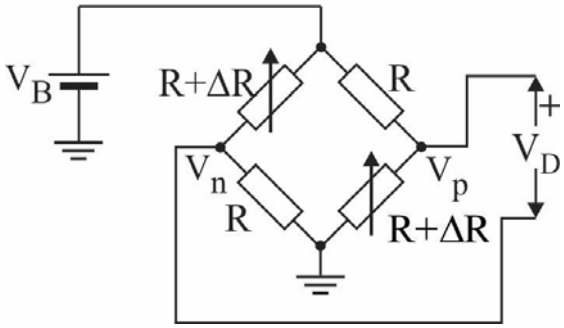
$$V_D = V_p - V_n = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} V_B$$

Kada je most u ravnoteži izlazni napon je nula i tada iz izraza za izlazni napon sledi da je:

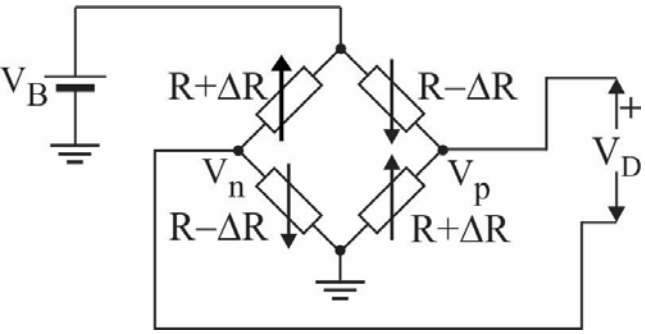
$$R_2 R_3 = R_1 R_4$$




$$V_D = \frac{R + \Delta R}{2R + \Delta R} - \frac{R}{R + R} \approx \frac{\Delta R}{4R}$$




$$V_D = \frac{R + \Delta R}{2R + \Delta R} - \frac{R}{2R + \Delta R} \approx \frac{\Delta R}{2R}$$




$$V_D = \frac{R + \Delta R}{2R} - \frac{R - \Delta R}{2R} \approx \frac{\Delta R}{R}$$

Otpornici koji imaju fiksnu vrednost se odredjuju tako da imaju otpornost jednaku nominalnoj vrednosti senzora. Odstupanje otpornosti senzora od nominalne vrednosti treba da je srazmerno veličini koja se meri (naprezanje, pritisak, temperatura).

Most sa jednim promenjivim otpornikom je pogodan za merenje temperature termistorom.

Za realizaciju mosta sa 2 ili 4 promenjive otpornosti, pogodne su otporne merne trake. U tom slučaju svaka od promenjivih otpornosti predstavlja otpornu mernu traku orjentisanu na odredjeni način.

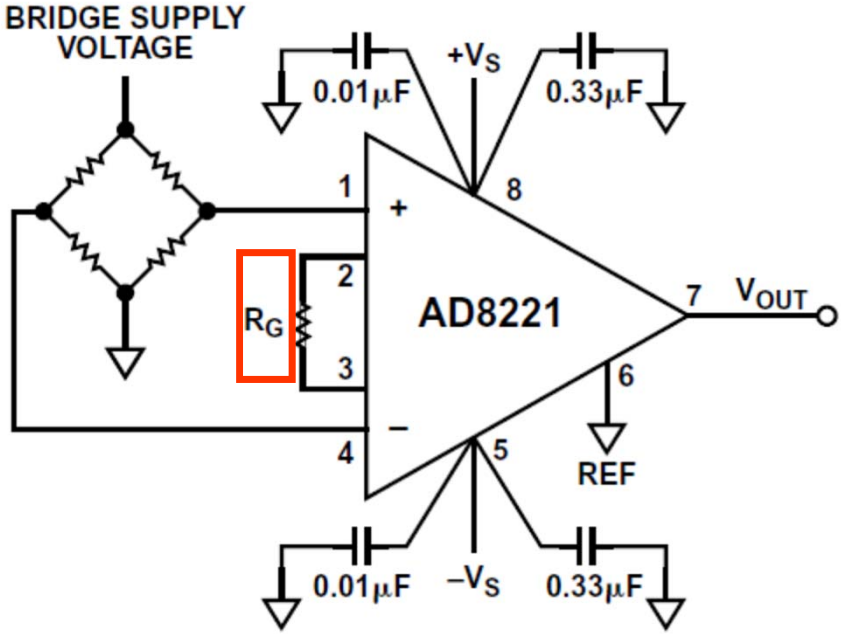
Most sa 1 i sa 2 promenjive otpornosti ima nelinarnu karakteristiku za razliku od mosta sa 4 promenjive otpornosti čija je karakteristika linearna.

## Primene instrumentacionog pojačavača

- **Medicinska instrumentacija**. Instrumentacioni pojačavači se široko primenjuju u medicinskim uređajima kao što su EKG i EEG monitori, monitori krvnog pritiska itd.
- **Softver-programabilne aplikcije**. Instrumentacioni pojačavači se mogu koristiti u kombinaciji sa programibilnim čipovima za softversku kontrolu hardverskog sistema.
- **Audio aplikacije**. Zahvaljujući svojim dobrim osobinama mogu se koristiti za izdvajanje slabog signala u prisustvu izraženog šuma.
- **Video aplikacije**. Instrumentacioni pojačavači primenjuju se i za akviziciju video podataka. Za ove namene primenjuju se instrumentacioni pojačavači sa širokim propusnim opsegom.
- **Monitoring i kontrola**. Mogu se koristiti za monitoring rada motora praćenjem struja i napona.

▪ Instrumentacioni pojačavač čije se pojačanje podešava softverski naziva se PGA pojačavač (*Programmable Gain Amplifier*).

Ovo kolo se zasniva na osobini instrumentacionog pojačavača da pojačanje može da se podesi promenjivim otpornikom koji je izolovan od ulaznog signala. U ovom slučaju primenjuje se digitalno kontrolisani potenciometar.

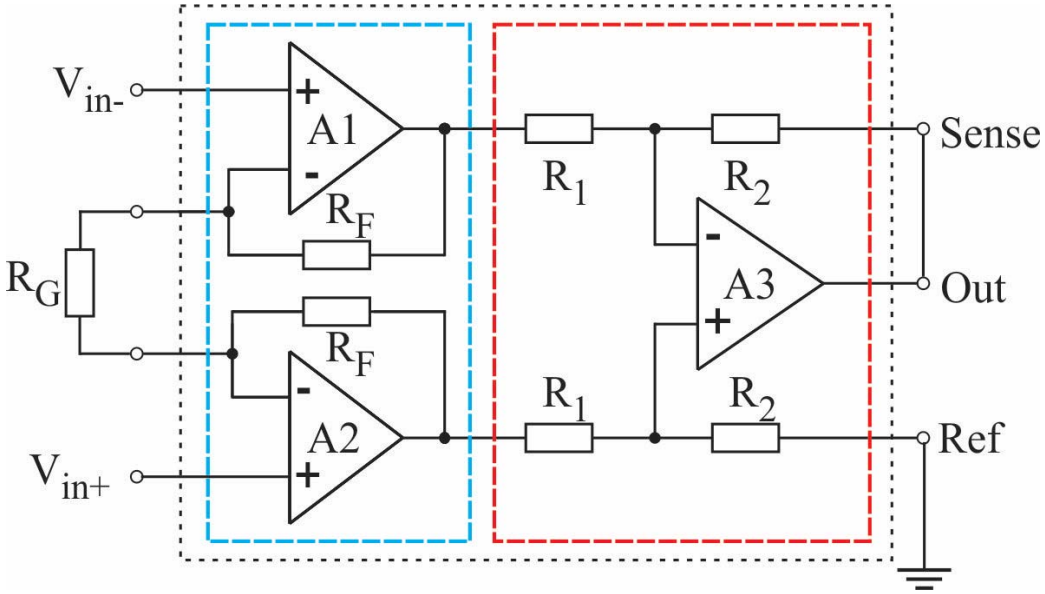


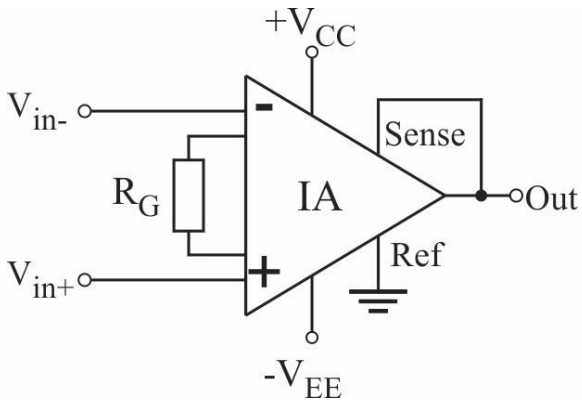
## Najznačajnije karakteristike instrumentacionog pojačavača

- **Faktor potiskivanja srednje vrednosti signala (common mode rejection ratio – CMRR)**. Ovo je najznačajnija karakteristika instrumentacionog pojačavača. Neophodno je da CMR ima dovoljnu vrednost unutar frekvencijskog opsega signala koji se obradjuje.
- **Ulazni ofset napon i temperaturni drift**. Ulazni ofset napon se može eliminisati primenom spoljnjeg trimera dok se temperaturni drift ne može eliminisati. Tipične vrednosti temperaturnog drifta su 1 do 10 mV/$^{o}$C.
- **Struje polarizacije i ofset struje**. Struje polarizacije ulaznih bipolarnih tranzistora su neizbežne. One unose određenu grešku i nastoji se da budu što manje. Tipične vrednosti struja polarizacija kod bipolarnih pojačavača su 1nA do 50nA. Ukoliko je unutrašnja otpornost generatora signala veoma velika ne mogu se normalno polarisati ulazni tranzistori. U tom slučaju se polarizacija realizuje otpornicima koji su vezani paralelno ulazima instrumentacionog pojačavača.
- **Ulazna impedansa**. Ulazne impadanse invertujućeg i neinvertujućeg ulaza moraju biti velike i podešene na približno jednake vrednosti (uparene). Ovo je neophodno da bi se izbeglo smanjenje nivoa signala na ulazu. Tipična vrednost ulazne otpornosti je $10^9$ do $10^{12}$ Ω.

## Instrumentacioni pojačavač realizovan sa tri operaciona pojačavača

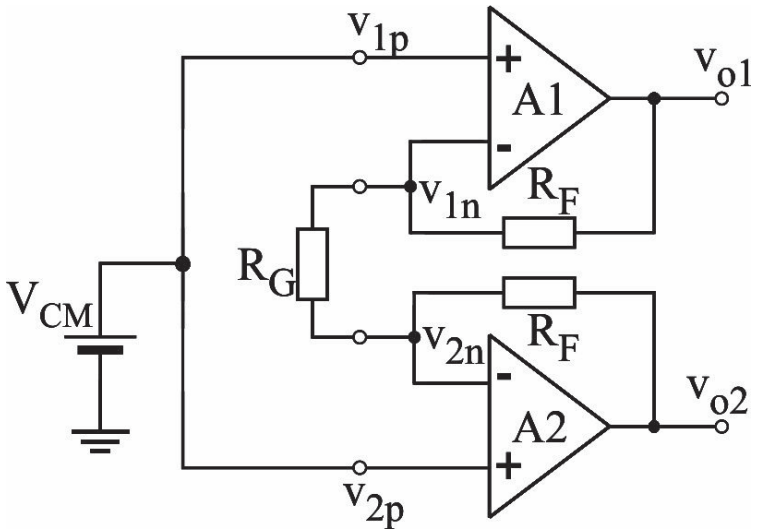
- Ulazni stepen je diferencijalni pretpojačavač koji ima simetričan ulaz i simetričan izlaz. Sačinjen je od dva operaciona pojačavača ($A_1$, $A_2$), dva identična otpornika $R_F$ i otpornika $R_G$ koji ne pripada integrisanom kolu. Pojačanje prvog stepena podešava se pomoću otpornika $R_G$. Uloga prvog stepena je da obezbedi: 1) pojačanje diferencijalnog signala 2) veliku ulaznu otpornost.
- Drugi stepen čini diferencijalini pojačavač ($A_3$, $R_1$, $R_2$) koji najčešće ima pojačanje 1 ali može da ima i veće pojačanje. Uloga drugog stepena je potiskivanje srednje vrednosti signala.



# Instrumentacioni pojačavač realizovan sa tri operaciona pojačavača

Ukoliko je pobuda simetrična, $V_{1p} = V_{2p} = V_{CM}$ pad napona na otporniku $R_G$ je nula. U tom slučaju ne teče struja ni kroz otpornik $R_G$ ni kroz otpornike $R_F$. Posledica toga je da su naponi na izlazima operacionih pojačavača jednaki ulaznom naponu $V_{CM}$.




$$\frac{V_{1n} - V_{2n}}{R_G} + \frac{V_{1n} - V_{o1}}{R_F} = 0$$

$$\frac{V_{2n} - V_{1n}}{R_G} + \frac{V_{2N} - V_{o2}}{R_F} = 0$$

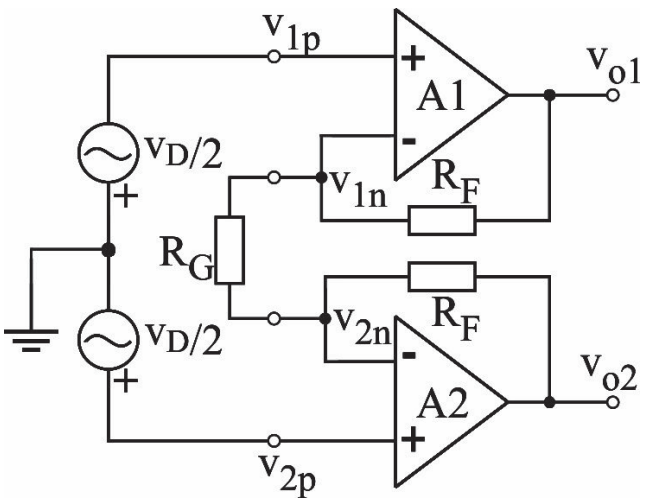
$$V_{1n} = V_{2n} = V_{CM} \quad \Rightarrow \quad V_{o1} = V_{1n} = V_{CM} \quad V_{o2} = V_{2n} = V_{CM}$$

- Pojačanje srednje vrednosti signala za prvi stepen instrumentacionog pojačavača jednako je jedan.

$$A_{CM} = \frac{V_{o1}}{\frac{(V_{1p} + V_{2p})}{2}} = 1$$

# Instrumentacioni pojačavač realizovan sa tri operaciona pojačavača

Pri diferencijalnoj pobudi naponi na izlazu operacionih pojačavača u prvom stepenu instrumentacionog pojačavača $V_1$ i $V_2$ mogu se odrediti iz sledećeg sistema jednačina:




$$\frac{V_{1n}-V_{2n}}{R_G}+\frac{V_{1n}-V_{o1}}{R_F}=0$$

$$\frac{V_{2n}-V_{1n}}{R_G}+\frac{V_{2N}-V_{o2}}{R_F}=0$$

$$V_{1n}=V_{1p}=-\frac{V_D}{2}$$

$$V_{2n}=V_{2p}=\frac{V_D}{2}$$

$$V_{o1}=-\frac{V_D}{2}-\frac{V_D R_F}{R_G} \qquad V_{o2}=\frac{V_D}{2}+\frac{V_D R_F}{R_G}$$

Diferencijalno pojačanje prvog stepena instrumentacinog pojačavača je:

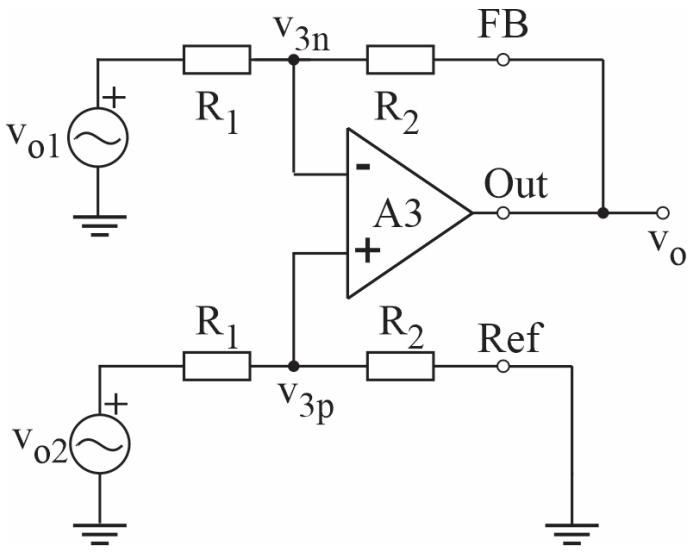
$$A_{D1}=\frac{V_{o2}-V_{o1}}{V_{2p}-V_{1p}}=\frac{V_{o2}-V_{o1}}{V_D}$$

$$\boxed{A_{D1}=1+2\frac{R_F}{R_G}}$$

## Instrumentacioni pojačavač realizovan sa tri operaciona pojačavača

• Drugi pojačavački stepen predstavlja diferencijalni pojačavač sa asimetričnim izlazom. Realizovan je upotrebom jednog operacionog pojačavača, $A_3$, i dva para otpornika $R_1$ i $R_2$.

• Uloga ovog pojačavačkog stepena je da potisne srednju vrednost signala a ne da pojača signal. Kada bi otpornici bili idealno upareni pojačanje srednje vrednosti bi bilo 0, međutim uvek postoje određena odstupanja od nominalne vrednosti. Da bi se dobila što veća vrednost faktora potiskivanja, odnosno da bi se što više potisnula srednja vrednost signala, najčešće je pojačanje ovog stepena podešeno da bude 1.




$$V_{3p} = V_{o2} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{3n} = V_{o1} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_o \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_o = (V_{o2} - V_{o1}) \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

$$A_{D2} = \frac{V_o}{V_{o2} - V_{o1}} = \frac{R_2}{R_1}$$

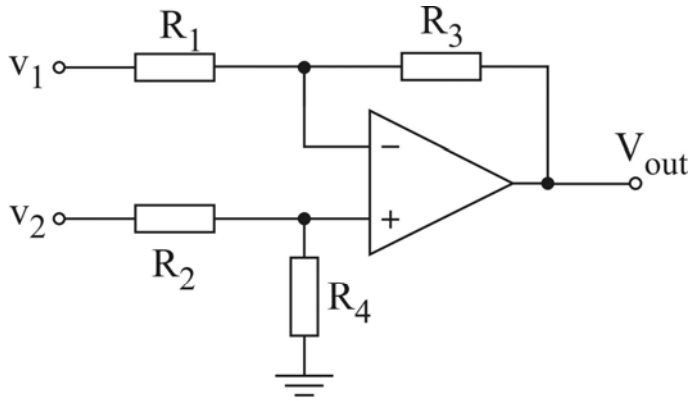
Kada je pojačanje jednako 1, $R_1 = R_2$.

# Faktor potiskivanja instrumentacionog pojačavača

**Faktor potiskivanja instrumentacionog pojačavača**

Faktor potiskivanja diferencijalnog pojačavača zavisi pre svega od tolerancija upotrebljenih otpornika. Doprinos operacionog pojačavača pojačanju srednje vrednosti je zanemariv. Da bi se osigurala veća vrednost faktora potiskivanja ove otpornosti se realizuju unutar integrisanog kola. Pojačanje drugog stepena instrumentacionog pojačavača je:

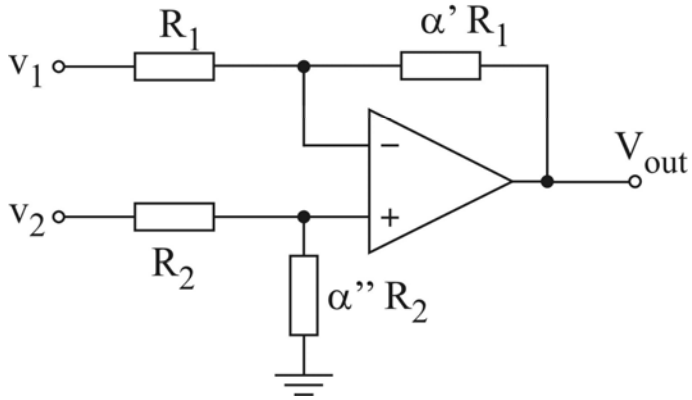
$$A_d = \alpha = \frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2}$$




α je odnos otpornosti dva para otpornika. Razmotrimo kako tolerancije otpornika utiču na pojačanje srednje vrednosti signala. Označimo sa $R_1', R_2', R_3', R_4'$ realne vrednosti otpornik i sa $R_1, R_2, R_3\ R_4$ nominalne vrednosti otpornika. Sa ε je označena tolerancija otpornika.

$$\alpha' = \frac{R_3'}{R_1'} = \frac{R_3(1 \pm \varepsilon)}{R_1(1 \pm \varepsilon)} = \alpha \cdot \frac{(1 \pm \varepsilon)}{(1 \pm \varepsilon)}$$

$$\alpha'' = \frac{R_4'}{R_2'} = \frac{R_4(1 \pm \varepsilon)}{R_2(1 \pm \varepsilon)} = \alpha \cdot \frac{(1 \pm \varepsilon)}{(1 \pm \varepsilon)}$$



# Faktor potiskivanja instrumentacionog pojačavača

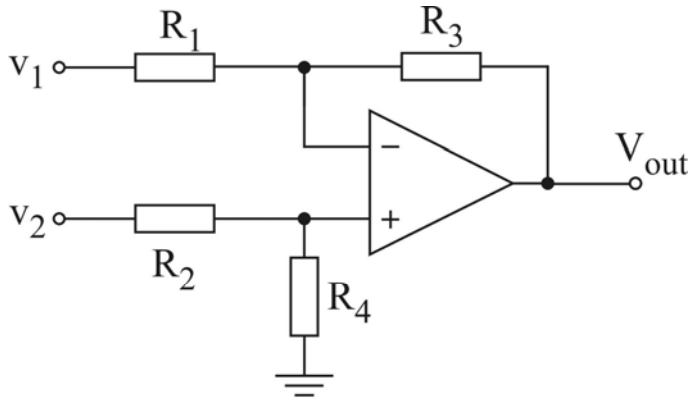
**Faktor potiskivanja instrumentacionog pojačavača**

Najveća vrednost odnosa dva otpornika, $\alpha'$ ili $\alpha''$ , nastaje kada su odstupanja otpornika od nominalne vrednosti maksimalna i suprotnog znaka. U tom slučaju dobija se:

$$\boldsymbol{\varepsilon \ll 1}$$

$$\boldsymbol{\alpha' = \alpha \cdot \frac{(1 \pm \varepsilon)}{(1 \pm \varepsilon)} \leq \alpha \cdot \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon} = \alpha \cdot \frac{1-\varepsilon+2\varepsilon}{1-\varepsilon} = \alpha\left(1+\frac{2\varepsilon}{1-\varepsilon}\right) \approx \alpha \cdot (1+2\varepsilon)}$$

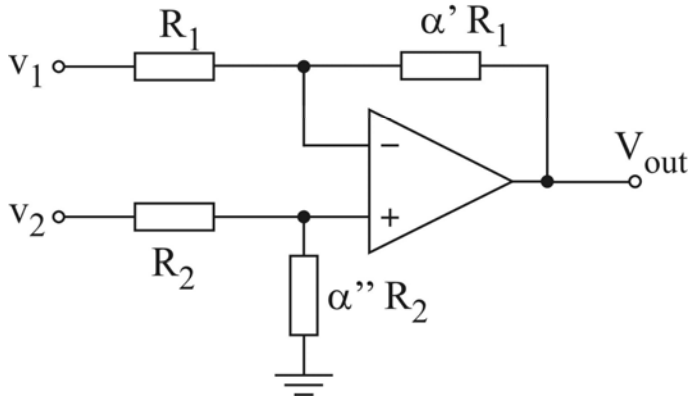
$$\boldsymbol{\alpha'' = \alpha \cdot \frac{(1 \pm \varepsilon)}{(1 \pm \varepsilon)} \leq \alpha \cdot \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon} = \alpha \cdot \frac{1-\varepsilon+2\varepsilon}{1-\varepsilon} = \alpha\left(1+\frac{2\varepsilon}{1-\varepsilon}\right) \approx \alpha \cdot (1+2\varepsilon)}$$




Tolerancija odnosa dva otpornika ($R_3/R_1$ ili $R_4/R_2$) , α, jednaka je dvostrukoj vrednosti tolerancija otpornosti.

$$\alpha(\boldsymbol{1-2\varepsilon}) \leq \frac{R_3}{R_1} = \alpha' \leq \alpha(\boldsymbol{1+2\varepsilon})$$

$$\alpha(\boldsymbol{1-2\varepsilon}) \leq \frac{R_4}{R_2} = \alpha'' \leq \alpha(\boldsymbol{1+2\varepsilon})$$



# Faktor potiskivanja instrumentacionog pojačavača

Potrebno je utvrditi kako tolerancije otpornika utiču na pojačanje srednje vrednosti diferencijalnog pojačavača.

$$V_{out} = \frac{R_4}{R_2 + R_4}\frac{R_1 + R_3}{R_1}V_2 - \frac{R_3}{R_1}V_1$$

$$\alpha' = R_4/R_2 \qquad \alpha'' = R_3/R_1$$

Odakle sledi da se izlazni napon može izraziti kao:

$$V_{out} = \frac{\alpha''}{1 + \alpha''} \cdot (\alpha' + 1) \cdot V_2 - \alpha' \cdot V_1$$

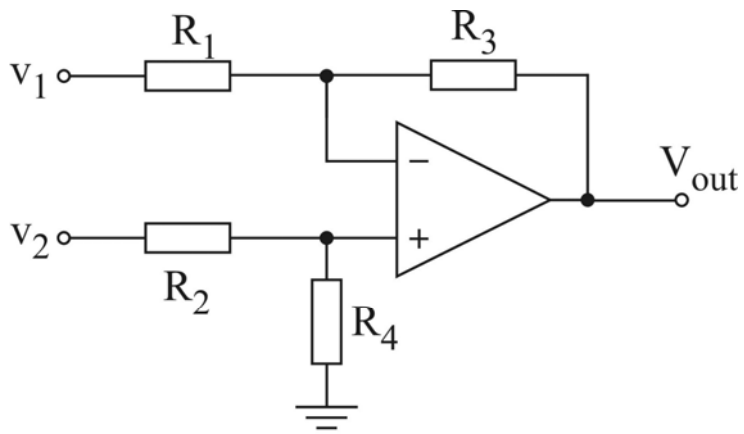
Iz gornjeng izraza sledi da je pojačanje srednje vrednosti

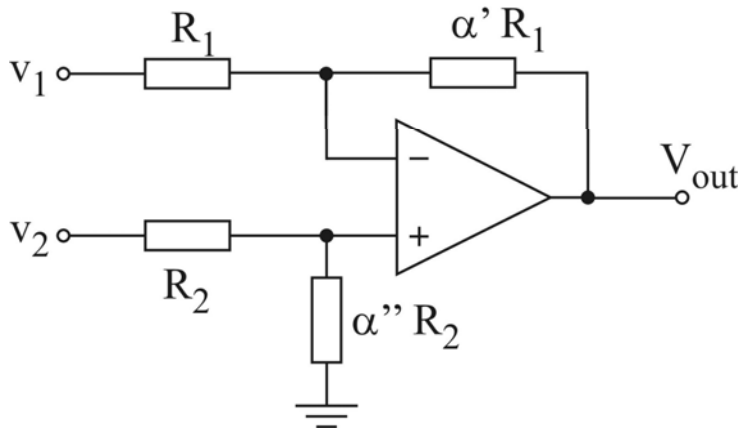
$$A_{CM} = \frac{V_{out}}{\left(\frac{V_1 + V_2}{2}\right)}\Bigg|_{za\ V_1 = V_2} = \frac{\alpha''}{1 + \alpha''} \cdot (\alpha' + 1) - \alpha'$$

$$A_{CM} = \frac{\alpha'' - \alpha'}{1 + \alpha''}$$

$$\alpha(\mathbf{1} - \mathbf{2}\boldsymbol{\varepsilon}) \leq \alpha' \leq \alpha(\mathbf{1} + \mathbf{2}\boldsymbol{\varepsilon})$$

$$\alpha(\mathbf{1} - \mathbf{2}\boldsymbol{\varepsilon}) \leq \alpha'' \leq \alpha(\mathbf{1} + \mathbf{2}\boldsymbol{\varepsilon})$$



# Faktor potiskivanja instrumentacionog pojačavača

Najveća vrednost $A_{CM}$ odgovaraće situaciji kada je $\boldsymbol{\alpha' = \alpha \cdot (1 + 2 \cdot \varepsilon)}$ i $\boldsymbol{\alpha'' = \alpha \cdot (1 - 2 \cdot \varepsilon)}$

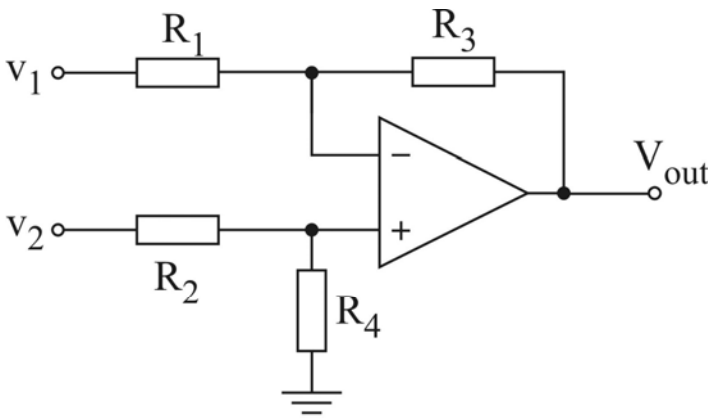
$$A_{CM} \leq \frac{\alpha \cdot (1 + 2 \cdot \varepsilon) - \alpha \cdot (1 - 2 \cdot \varepsilon)}{1 + \alpha \cdot (1 - 2 \cdot \varepsilon)}$$

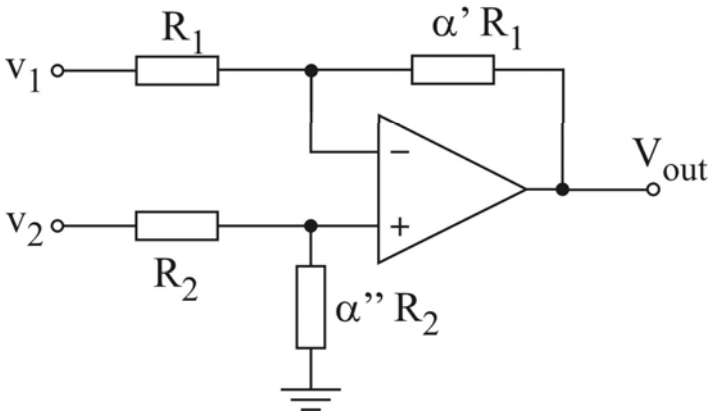
$$A_{CM} \leq \frac{\alpha}{1 + \alpha} \frac{(1 + 2 \cdot \varepsilon) - (1 - 2 \cdot \varepsilon)}{1 - \frac{2 \cdot \varepsilon}{1 + \alpha}}$$

$$\frac{\alpha}{1 + \alpha} = \frac{A_d}{1 + A_d} \qquad 1 + \frac{2 \cdot \varepsilon}{1 + \alpha} \approx 1$$

$$\boxed{A_{CM} \leq \frac{A_d}{1 + A_d} \cdot 4 \cdot \varepsilon}$$

$$\boxed{A_d = 1 \quad \Rightarrow \quad A_{CM} \approx 2 \cdot \varepsilon}$$




Pojačanje srednje vrednosti osim tolerancije komopnenata zavisi i od diferencijalnog pojačanja. Sa povećanjem diferencijalnog pojačanja povećava se i pojačanje srednje vrednosti. Da bi se dobila veća vrednost Faktora potiskivanja usvaja se da je $A_d = 1$. Pri jediničnom diferencijalnom pojačanju $A_{CM}$ je srazmerno dvostrukoj vrednosti toleracnija otpornika ε.

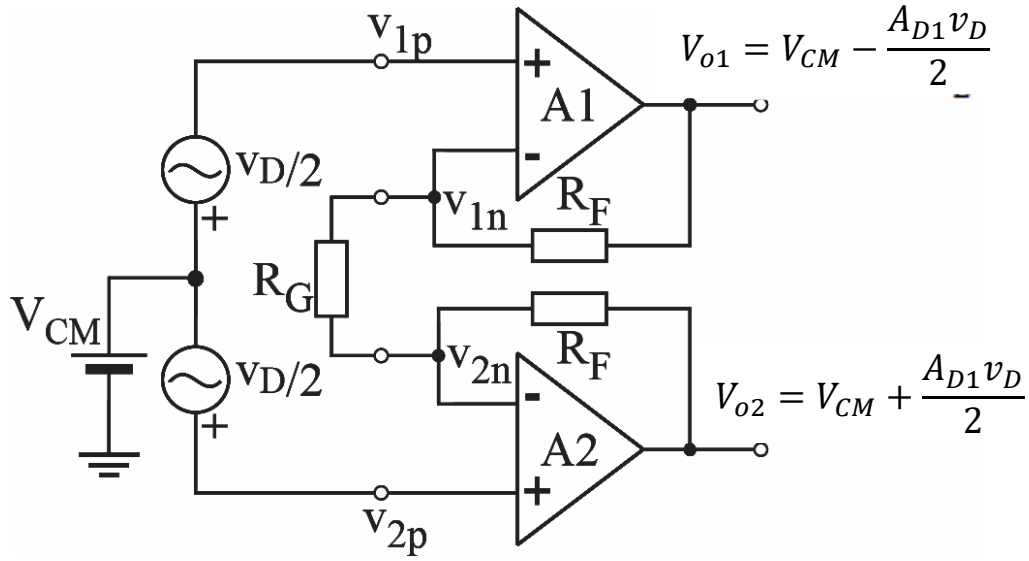
# Povećanje opsega srednje vrednosti ulaznog signala

- Iako je srednja vrednost ulaznog signala potisnuta ova komponenta signala ne može biti neograničeno velika. Pri određenoj vrednosti srednje vredosti napona, $V_{CM}$, operacioni pojačavači prvog stepena ulaze u zasićenje.

- Dozvoljeni opseg srednje vrednosti ulaznog napona može se odrediti iz izraza za napon na izlazima operacionih pojačavača, $A_1$ i $A_2$

$$V_{o1} = V_{Cm} - A_{D1}\frac{V_D}{2} \qquad V_2 = V_{Cm} + A_{D1}\frac{V_D}{2}$$

$$-V_{sat} < V_{o1}, V_{o2} < V_{SAT}$$




- Odavde sledi da je povećanje srednje vrednosti napona sa $V_{CM}$ na $V'_{CM}$ moguće jedino ukoliko se smanji pojačanje ulaznog stepena sa $A_{D1}$ na $A'_{D1}$ tako da:

$$\max(V_{o1}, V_{o2}) = V_{CM} + A_{D1}\frac{V_D}{2} = V'_{CM} + A'_{D1}\frac{V_D}{2}$$

$$V'_{CM} > V_{CM} \qquad A'_{D1} < A_{D1}$$

# Povećanje opsega srednje vrednosti ulaznog signala

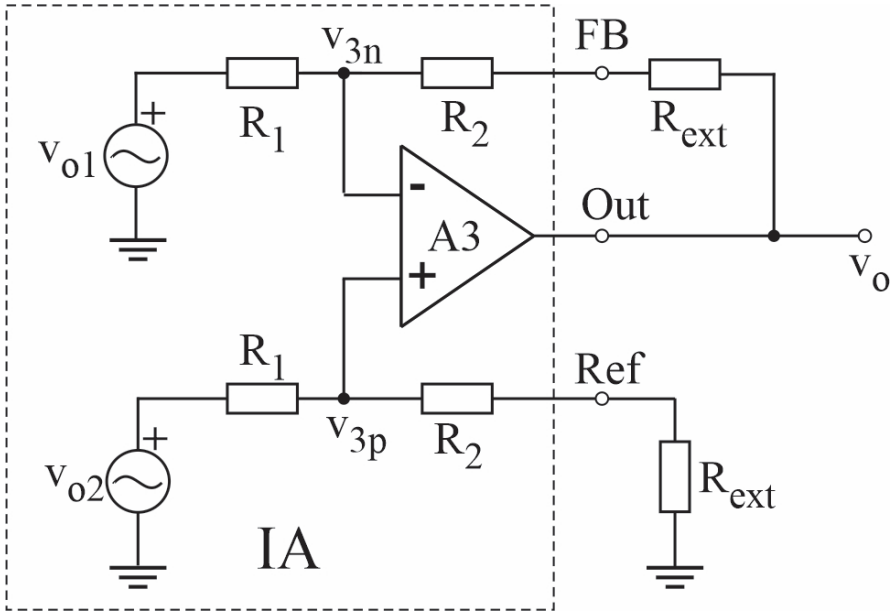
- Ukoliko se potrebno smanjiti pojačanje ulaznog stepena zbog velike srednje vrednosti napona na ulazu neophodno je uvesti dodatno pojačanje u izlaznom stepenu. Najjednostavnije rešenje da se poveća pojačanje drugog stepena je da se spolja dodaju otpornici koji će biti redno vezani sa otpornicima u diferencijalnom pojačavaju.
- U standardnom rešenju instrumentacionog pojačavača drugi pojačavački stepen ima pojačanje 1 odnosno usvaja se $R_1$=$R_2$tako da važi da je ukupno pojačanje:

$$A_{TOT} = A_{D1}A_{D2} = A_{D1} \qquad A_{TOT} = A'_{D1}A'_{D2}$$

Ukoliko se umanji pojačanje prvog stepena sa $A_{D1}$ na $A'_{D1}$ a pojačanje drugog stepna poveća sa $A_{D2}$ na $A'_{D2}$ tako ukupno pojačanje ostane neizmenjeno važiće:

$$A'_{D2} = \frac{A_{TOT}}{A'_{D1}}$$

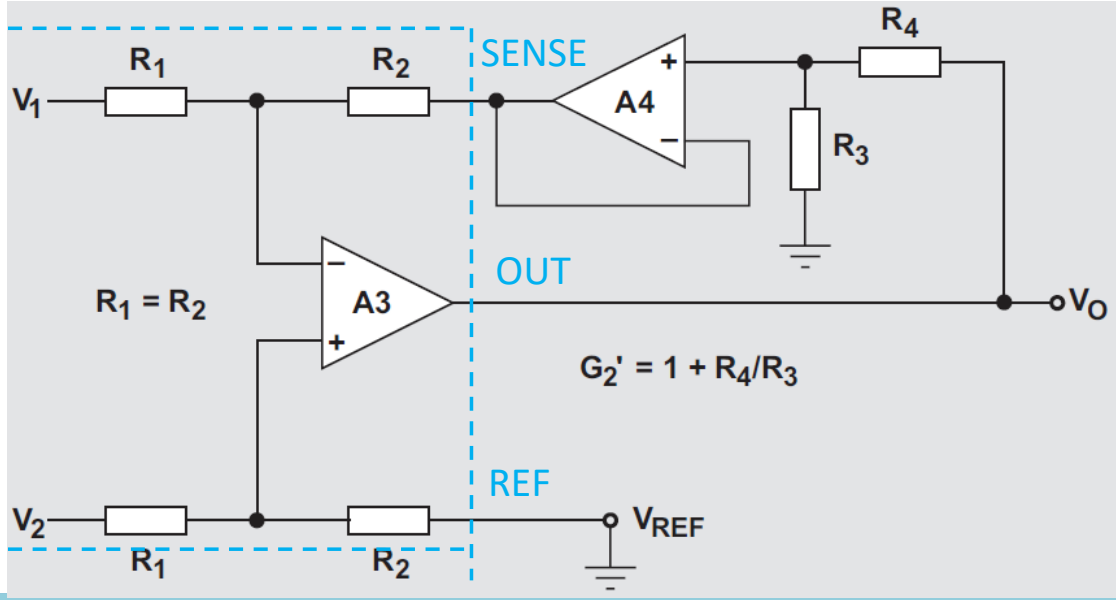
$$A'_{D2} = \frac{R'_2}{R_1} = \frac{R_2 + R_{EXT}}{R_1}$$




Neodstatak ovog rešenja je uvođenje velikih otpornosti u kolo pojačavača što ima za posledicu povećanje šuma, kao i eventualno umanjenje faktora potiskivanja dodavanjem spoljnjih otpornika.

# Povećanje opsega srednje vrednosti ulaznog signala

- Drugi način za povećanje **opsega srednje vrednosti signala** na ulazu je primena naponskog delitelja u povratnoj sprezi od izlaza do invertujućeg ulaza operacionog pojačavača A3. Plavom linijom je uokviren deo kola koji je u sastavu instrumentacionog pojačavača. Plavim slovima su označene oznake izvoda integrisanog kola.
- Izlazni napon ovog kola može se izraziti kao $V_0 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)$
- Prednost ovog kola je da difrencijalno pojačanje zavisi od odnosa otpornika $R_3$ i $R_4$. Na ovaj način može se postići zadovoljavajuće pojačanje bez upotrebe velikih otpornosti. Mala izlazna otpornost bafera A4 omogućava održavanje visoke vrednosti CMRR.

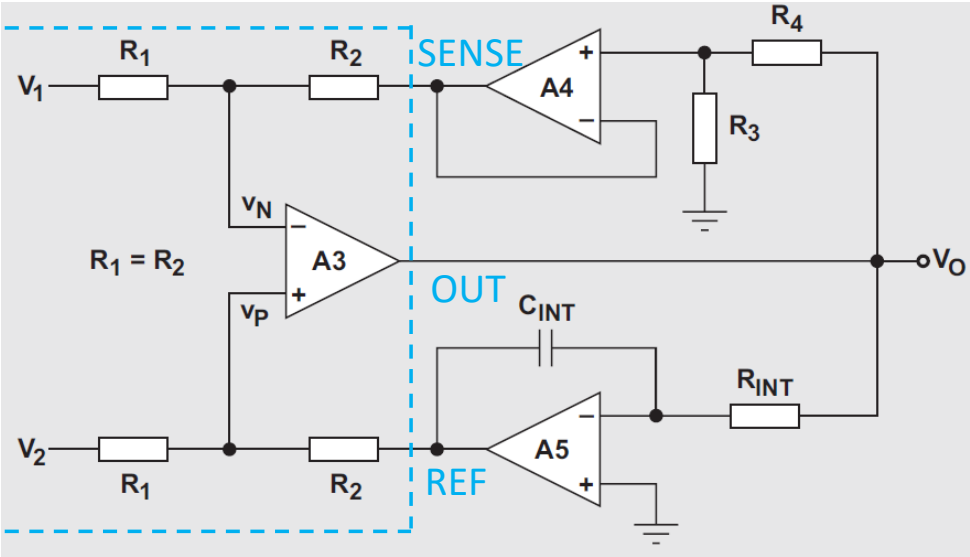


# Potiskivanje DC diferencijalnog napona

- U pojedinim primenama instrumentacionog pojačavača potrebno je umanjiti veliku vrednost jednosmernog diferencijalnog napona ulaznog signala. Primera radi u medicinskim merenjima se javlja jednosmerni difrenecijalni napon koji je više stotina puta veći od naizmeničnog diferencijalnog napona koji predstavlja koristan signal (reda mV).
- Neposredna primena aktivnog filtra pre instrumentacionog pojačavača nije dobro rešenje jer se na taj način umanjuje CMRR.
- Uticaj velike vrednosti DC difrencijalnog napona rešava se u sledeća tri koraka:
  1. Ograničavanje pojačanja ulaznog stepena $G_1$ da bi se izbegla pojava zasićenja u ulaznim operacionim pojačavačima $A_1$ i $A_2$.
  2. Primena filtra propusnika niskih frekvencija u izlaznom stepenu da bi se eliminisao diferencijalni DC signal.
  3. Povećanjke pojačanja izlaznog stepena da bi se povećao nivo naizmenične komponente signala na izlazu.

# Potiskivanje DC diferencijalnog napona

- Jedna od načina da se potisne DC diferencijalni signal prikazana je na slici. Izlaznom stepenu instrumentacionog pojačavača dodato je kolo delitelja ($R_3, R_4, A_4$) i kolo NF filtra ($R_{INT}, A_5$).
- Kolo delitelja vraća signal od izlaza ka invertujućem ulazu i služi za povećanje pojačanja izlaznog stepena.
- NF filtar vraća signal od izlaza ka neinvertujućem ulazu i služi za potiskivanje jednosmernog diferencijalnog signala.



# Potiskivanje DC diferencijalnog napona

- Naponi na ulazima operacionog pojačavača $A_3$ mogu se primenom superpozicije izraziti kao :

$$V_n = V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2}\left(\frac{R_3}{R_3 + R_4}\right) = \frac{V_1}{2} + \frac{V_o}{2} \cdot \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4}\right)$$

$$V_p = V_2\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) - V_o\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) \cdot \left(\frac{1}{s \cdot C_{int} R_{\text{int}}}\right) = \frac{V_2}{2} - \frac{V_0}{2} \cdot \left(\frac{1}{s \cdot C_{int} R_{\text{int}}}\right)$$

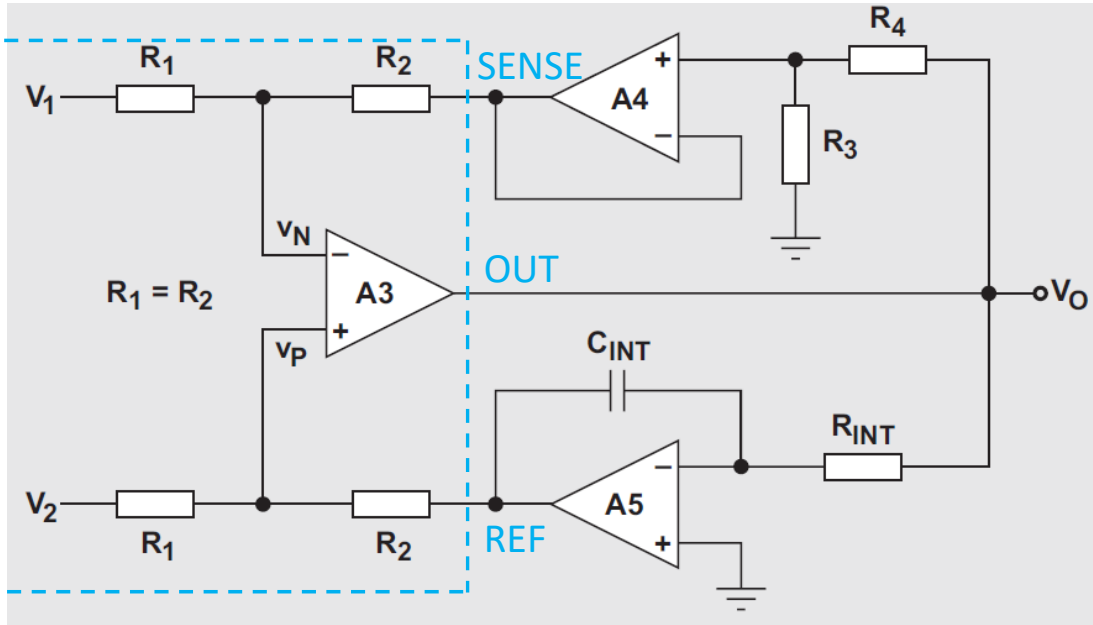
- Izjednačavanjem ova dva napona dobija se izraz za naponsko pojačanje izlaznog stepena:

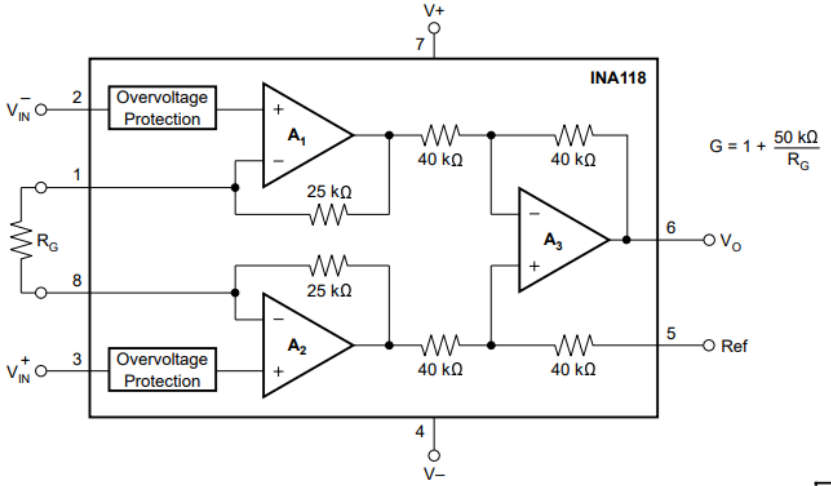
$$A_n(s) = \frac{V_0}{V_2 - V_1} = A_o \cdot \left(\frac{\frac{s}{\omega_o'}}{1 + \frac{s}{\omega_o'}}\right)$$

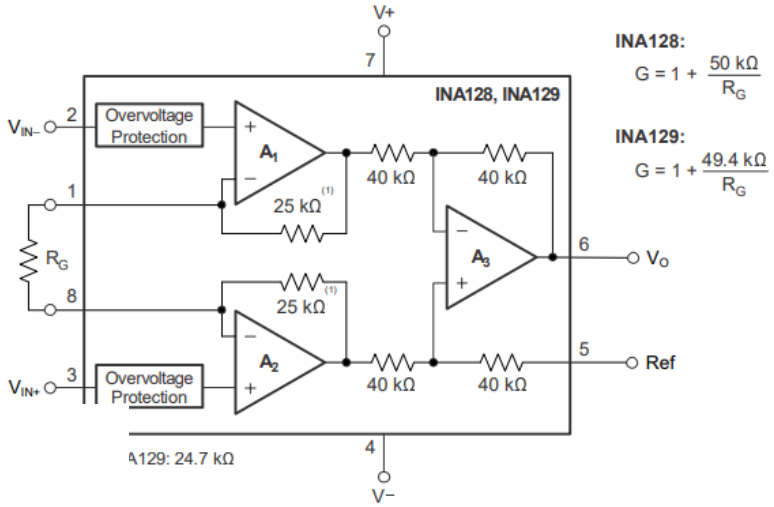
Gde je:

$$A_o = 1 + \frac{R_4}{R_3} \qquad \omega_o' = \frac{A_o}{R_{\text{int}} \cdot C_{\text{int}}}$$

Dobijena je prenosna funkcija prenosnika visokih frekvencija čija je uloga da potisne jednosmernu naizmeničnu komponentu ulaznog signala.





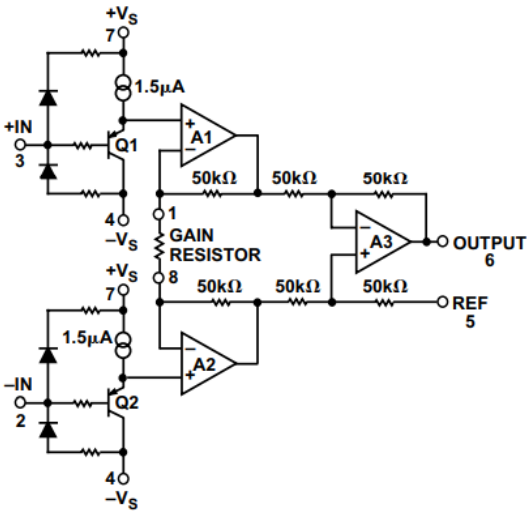




*Figure 3-42. AD623 simplified schematic.*

# Instrumentacioni pojačavač

Osnovna pitanja

1. Pojam instrumentacionog pojačavača, osnovne namene i zahtevi. Poređenje instrumentacionog pojačavača i operacionog pojačavača (2,3).
2. Instrumentacioni pojačavač realizovan sa tri operacionoa pojačavača -električna šema i uloga pojedinih stepena (12).

Ostala pitanja

1. Primena Witstnov-og mosta (7,8).
2. Primene instrumentacionog pojačavača (9).
3. Najznačajnije karakteristike instrumentacionog pojačavača (11).
4. Pojačanje diferencijalnog pojačanja i pojačanja srednje vrednosti prvog stepena instrumentacionog pojačavača (13,14).
5. Proračun faktora potiskivanja instrumentacionog pojačavača (početne postavke proračuna, kranji izrazi i zaključci – 16-19).
6. Povećanje opsega srednje vrednosti ulaznog signala kod instrumentacionog pojačavača (20,21,22).
7. Potiskivanje DC diferencijalnog napona kod instrumentacionog pojačavača (23,24,25)