

POJAČAVAČI SA DIREKTNOM SPREGOM

## Direktno spregnuti pojačavači

---

Direktno spregnutih pojačavači ne sadrže sprežne kondenzatore kao ni otpornike za polarizaciju. Ovaj tip polarizacije primenjuje se u intergrisanim kolima. Za razliku od kapacitivno spregnutih pojačavača, kod kojih se polarizacija svakog pojačavačkog stepena obavlja nezavisno, kod direktno spregnutih pojačavača potrebno je istovremeno uraditi polarizaciju celog kola. Usklađivanje radnih tačaka tranzistora u pojedinim pojačavačkim stepenima je komplikovanije i obavlja se pomoću posebnih potkola koja se zovu pomerači nivoa.

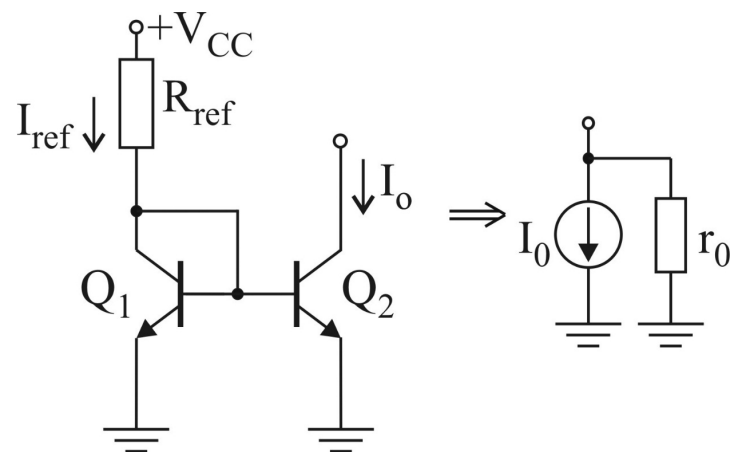
Pojačanje pojačavača sa direktnom spregom ne smanjuje se sa smanjivanjem frekvencije. Za razliku od njih kod kapacitivno spregnutih pojačavača pri smanjivanju frekvencije signala dolazi do smanjenja pojačanja. U frekvencijskoj karakteristici direktno spregnutih pojačavača postoji samo gornja granična frekvencija što znači da oni pojačavaju i jednosmernu komponentu napona.

## Izvori konstantne struje

Polarizacija tranzistora u integrisanim kolima se realizuje izvorima konstantne struje umesto otpornicima. Razlog za to je što otpornici zauzimaju veću površinu čipa u odnosu na tranzistore. **Izvori konstantne struje** su potkola (delovi kola) čija je funkcija da obezbede konstantnu vrednost struje u određenoj grani.

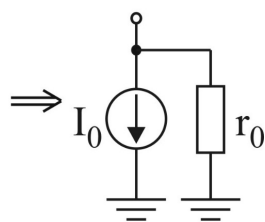
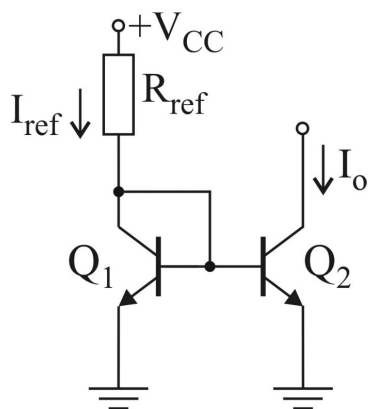
U jednosmernom režimu izvor konstantne struje se modelira jednosmernim strujnim generatorom  $I_o$ . Poželjno je da se vrednost struje koju daje izvor konstantne struje  $I_o$  što manje menja usled promene napona i promene temperature. U naizmeničnom režimu izvor konstantne struje se modelira dinamičkom otpornošću  $r_o$ . Vrednost dinamičke otpornosti treba da bude što veća. Pored ova dva parametra ( $I_o$  i  $r_o$ ) za izvor konstantne struje je bitno i u kom opsegu može da se menja napon a da izvor konstantne struje održava struju konstantnom.

Najjednostavniji izvor konstantne struje je strujno ogledalo koje čine tranzistori  $Q_1$  i  $Q_2$ . Ovo kolo praktično preslikava struju iz leve grane,  $I_{C1}$  u desnu granu  $I_o = I_{C2}$ .



## Izvor konstantne struje primenom strujnog ogledala

Tranzistor Q1 je vezan kao dioda (povezani su baza i kolektor). Ova dioda daje referentni napon. Struja kolektora Q1 je približno jednaka referentnoj struji  $I_{ref}$  ukoliko je koeficijent strujnog pojačanja  $\beta$  dovoljno veći od 1.



$$I_{ref} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{ref}}$$

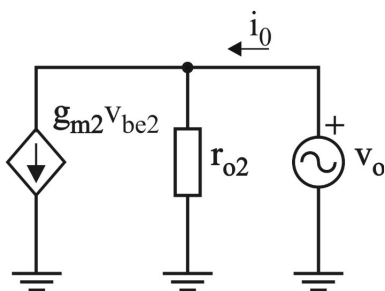
Tranzistori koji sačinjavaju strujno ogledalo su identičnih karakteristika. S obzirom da struja kolektora prvenstveno zavisi od napona između baze i emitora a vrlo malo zavisi od napona između kolektora i emitora sledi da je jednosmerna struja izvora konstantne struje  $I_o$  jednaka:

$$v_{BE1} = v_{BE2} \Rightarrow I_{C1} \approx I_{C2}$$

$$I_o = I_{C2} \approx I_{ref}$$

$$I_{ref} = I_{C1} + I_{B1} + I_{B2}$$

$$I_o = \frac{I_{ref}}{1 + \frac{2}{\beta}} \approx I_{ref}$$



$$v_{be1} = v_{be2} = 0$$

$$r_o = \frac{v_o}{i_o} = r_{o2}$$

$$r_{o2} = \frac{V_{A2}}{I_{C2}}$$

Dinamička otpornost izvora konstantne struje  $r_o$  je veoma velika i jednaka izlaznoj otpornosti tranzistora  $Q_2$ ,  $r_{o2}$ .

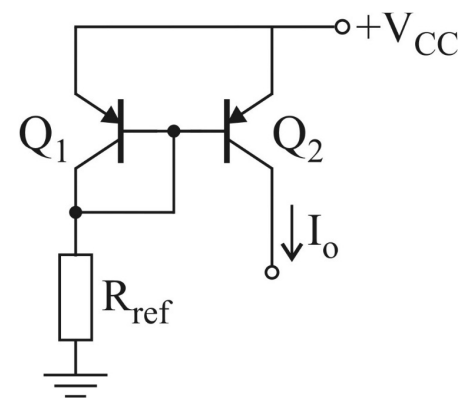
## Izvor konstantne struje primenom strujnog ogledala

Slika prikazuje varijantu izvora konstantne struje čija je struja usmerena tako da utiče u kolo (current source). Kada je struja izvora konstantne struje usmerena tako da ističe iz kola (kao u prethodnom slajdu) ona se zove current sink. U jednosmernom režimu se dobijaju iste jednačine kao za current source.

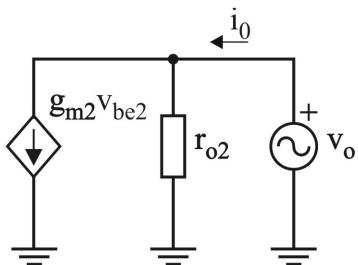
$$I_{ref} = \frac{V_{CC} + V_{BE}}{R_{ref}}$$

$$I_o = I_{C2} = I_{C1} = \frac{I_{ref}}{1 + \frac{2}{\beta}}$$

$$I_o \approx I_{ref}$$



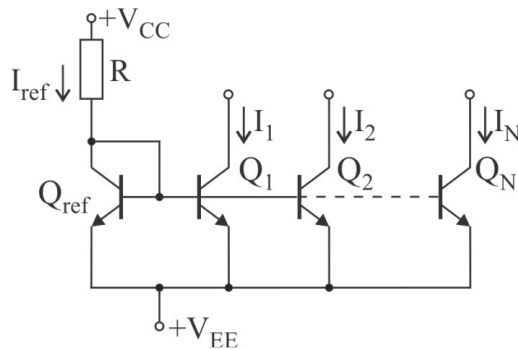
U naizmeničnom režimu dobija se:



$$v_{be1} = v_{be2} = 0 \quad r_{o2} = \frac{V_{A2}}{I_{C2}}$$

$$r_o = \frac{v_o}{i_o} = r_{o2}$$

## Izvor konstantne struje primenom strujnog ogledala



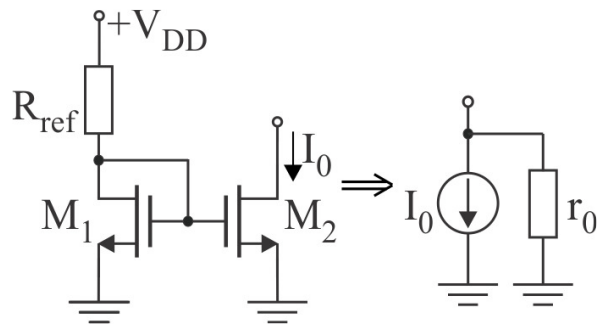
Tranzistor koji se koristi kao dioda ( $Q_{ref}$ ) može da posluži kao izvor referentnog napona za više tranzistora u kolu istovremeno.

$$I_{ref} = \frac{V_{CC} - V_{BE} + V_{EE}}{R}$$

$$V_{BE1} = V_{BE2} = \dots = V_{BEN} \quad \Rightarrow \quad I_1 = I_2 = \dots = I_N$$

Svi tranzistori koji čine izvor konstantne struje ( $Q_1$ - $Q_N$ ) su identičnih karakteristika. Ukoliko je napon na emitorskom spoju isti kod svih tranzistora može da smatramo da su im struje kolektora približno jednake.

# Izvor konstantne struje primenom strujnog ogledala realizovan MOSFET tranzistorima



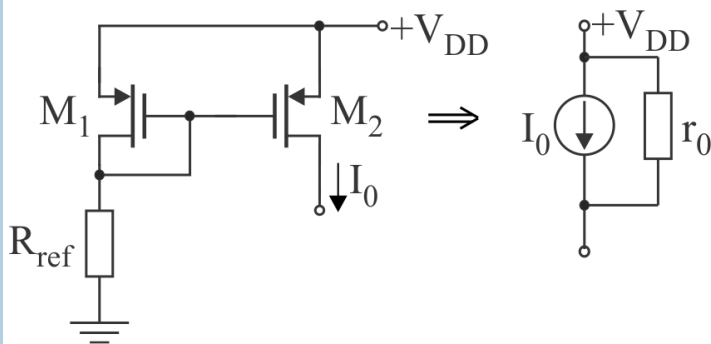
Tranzistori koji sačinjavaju strujno ogledalo, M1 i M2, treba da budu istih karakteristika:  $A_1=A_2$ ,  $V_{t1}=V_{t2}$ .

Izvor konstantne struje obavlja svoju funkciju sve dok je M2 u oblasti zasićenja, odnosno dok izlazni napon  $V_o$  zadovoljavaj uslov:

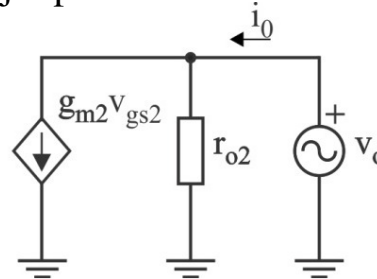
$$V_o = V_{DS2} > V_{GS2} - V_{t2}$$

Ovo kolo funkcioniše kao izvor konstantne struje i kada dimenzije tranzistora nisu iste, a odnos struja će biti:

$$\frac{I_o}{I_{ref}} = \frac{(W/L)_2}{(W/L)_1}$$



Dinamičku otpornost određujemo u naizmeničnom režimu. Dinamička otpornost izvora konstantne struje  $r_o$  je jednaka izlaznoj otpornosti tranzistora  $M_2$ ,  $r_{o2}$ .



$$v_{gs1} = v_{gs2} = 0 \quad r_{o2} = \frac{V_{A2}}{I_{D2}}$$

$$r_o = \frac{v_o}{i_o} = r_{o2}$$

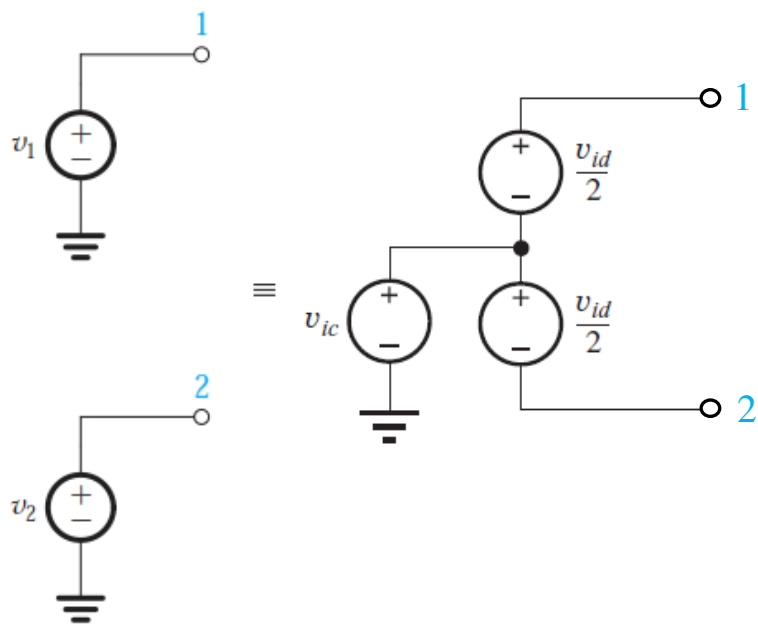
$$V_{GS1} = V_{DD} - R_{ref} \cdot A \cdot (V_{GS1} - V_{t1})^2$$

$$I_{D1} = A \cdot (V_{GS1} - V_{t1})^2$$

$$V_{GS1} = V_{GS2} \Rightarrow I_{D1} = I_{D2} = I_o$$

## Diferencijalno pojačanje i pojačanje srednje vrednosti

Diferencijalni napon i srednja vrednost napona



Dva proizvoljna napona mogu se izraziti preko **srednje vrednosti napona**  $v_{icm}$  i **diferencijalnog napona**  $v_{id}$ .

$$v_{ID} = v_1 - v_2$$

$$v_{ICM} = \frac{1}{2}(v_1 + v_2)$$

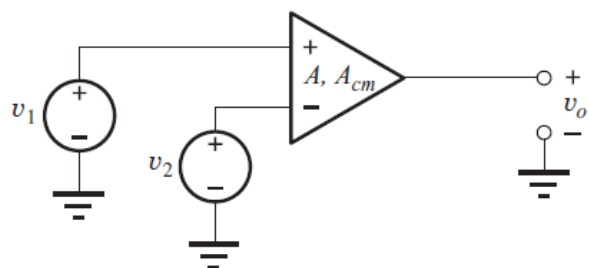
$$v_1 = v_{ICM} + \frac{v_{ID}}{2}$$

$$v_2 = v_{ICM} - \frac{v_{ID}}{2}$$

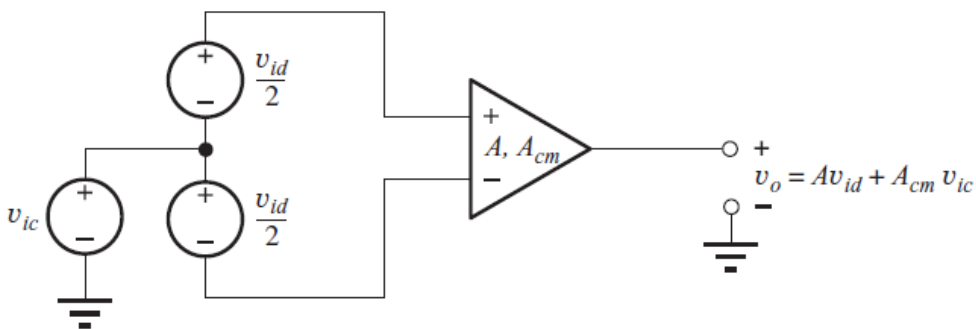


## Diferencijalno pojačanje i pojačanje srednje vrednosti

Ukoliko je kolo linearno može se primeniti princip superpozicije prema kome se izlazni napon dobija preko analize dve različite pobude. Prva odgovara takozvanoj **simetričnoj pobudi** kada deluje samo srednja vrednost napona  $v_1=v_2$ . Druga odgovara **asimetričnoj pobudi** kada deluje diferencijalni napon,  $v_1=-v_2$ .



$$v_o = A_d \cdot v_{id} + A_{cm} \cdot v_{ic}$$



$$v_o = A_d (v_1 - v_2) + A_{cm} \left( \frac{v_1 + v_2}{2} \right)$$

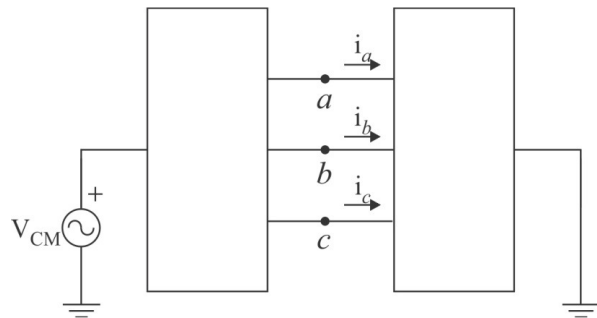
$$A_d = \left. \frac{v_o}{v_1 - v_2} \right|_{v_1 = -v_2}$$

**Diferencijalno pojačanje** je pojačanje pri asimetričnoj pobudi (kada su ulazni signali u protivfazi)

$$A_c = \left. \frac{v_o}{\left( \frac{v_1 + v_2}{2} \right)} \right|_{v_1 = v_2}$$

**Pojačanje srednje vrednosti** je pojačanje pri simetričnoj pobudi (kada su ulazni signali idenitični)

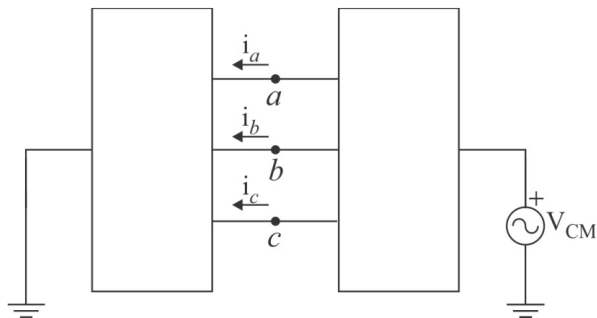
## Bisekciona teorema



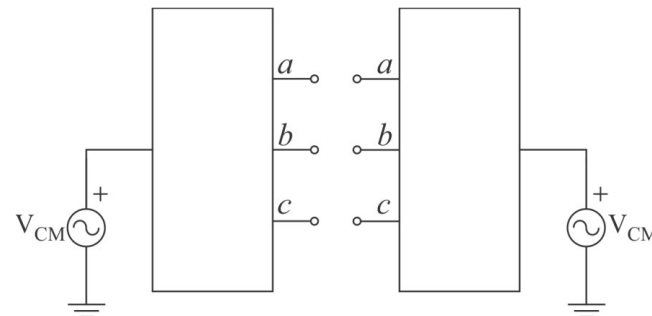
Razmatramo situaciju kada je kolo idealno simetrično i pobuđuje se sa dva identična naponska generatora u obe polovine kola. Kada se primeni princip superpozicije zaključujemo da iz svakog od čvorova na osi simetrije (a,b,c) ističu dve identične struje.

$$\begin{aligned} i_a + i_a &= 0 & i_b + i_b &= 0 & i_c + i_c &= 0 \\ i_a &= 0 & i_b &= 0 & i_c &= 0 \end{aligned}$$

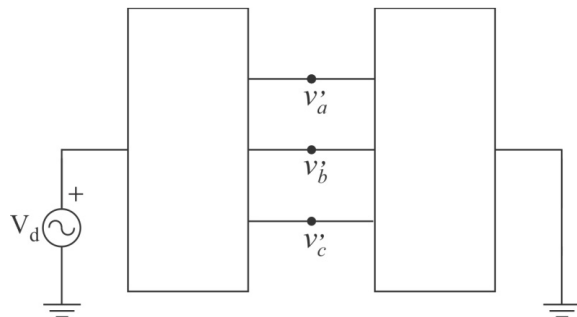
Zaključujemo da je rezultujuća struja kroz grane koje povezuju dva simetrična dela kola (a,b,c) jednaka nuli.



*Kada je pobuda simetrična ( $v_1 = v_2 = v_{cm}$ ) tačke na liniji simetrije se zamenjuju prekidom.*



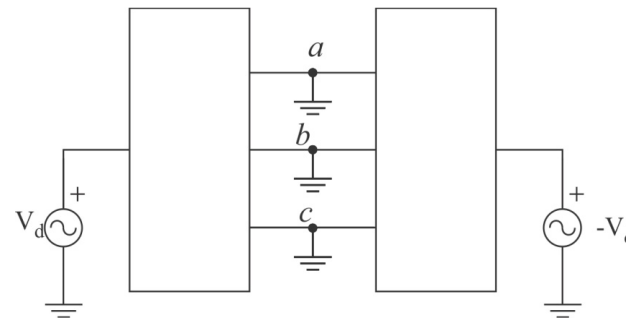
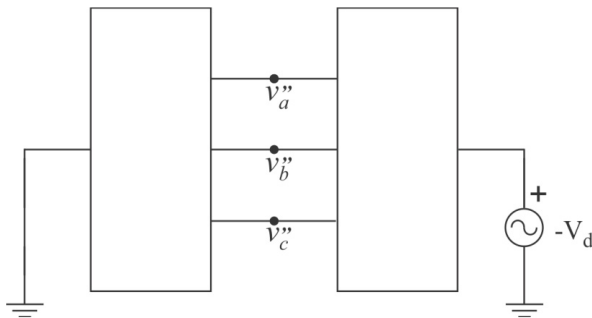
## Bisekciona teorema



Razmatramo situaciju kada je kolo idealno simetrično i pobuđuje se sa dva naponska generatora koji su jednaki po amplitudi i suprotnog znaka. Kada se primeni princip superpozicije dobiće se da je potencijal čvorova na liniji simetrije jednak nuli.

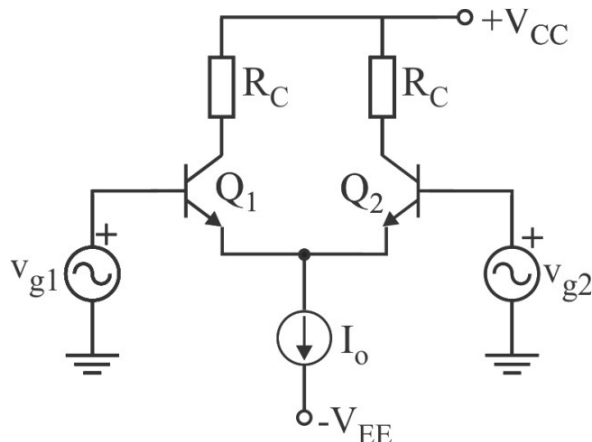
$$\begin{aligned} v'_a &= -v''_a & v'_b &= -v''_b & v'_c &= -v''_c \\ v'_a + v''_a &= 0 & v'_b + v''_b &= 0 & v'_c + v''_c &= 0 \end{aligned}$$

*Kada je pobuda asimetrična ( $v_1 = -v_2 = v_d$ ) tačke na liniji simetrije se spajaju sa masom.*



## Diferencijalni pojačavač

Diferencijalni pojačavač ima dva ulaza i jedan izlaz. Funkcija diferencijalnog pojačavača je da generiše izlazni napon srazmeran razlici ulaznih napona ( $v_{g1} - v_{g2}$ ) nezavisno od srednje vrednosti ulaznih napona ( $\frac{v_{g1} + v_{g2}}{2}$ ).



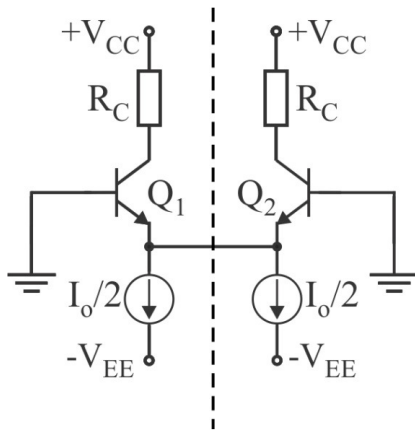
Da bi diferencijalni pojačavač obavio funkciju za koju je namenje potrebno je da kolo bude simetričano, odnosno da karakteristike oba tranzistora (Q1 i Q2) budu identične i da otpornici u kolu kolektora,  $R_C$ , budu jednaki.

Zbir struja tranzistora Q1 i Q2 ostaje uvek jednak struji izvora konstantne struje  $I_o$ . Kada je razlika ulaznih napona jednaka nuli struje kolektora oba tranzistora su jednake i iznose  $I_o/2$ . Ukoliko postoji razlika ulaznih napona na jednom od tranzistora pojaviće se pozitivni priraštaj struja a na drugom negativni priraštaj struje u odnosu na jednosmernu struju  $I_o/2$ . Pri malim priraštajima ulaznog napona (reda destak mV) možemo da smatramo da su promene struja u oba tranzistora linearno srazmerne ulaznom naponu.

Diferencijalni pojačavač odlikuje mala osetljivost na priraštaj temperature. Ukoliko poraste temperatura parametri oba tranzistora promeniće se za identičnu vrednost. Kao posledica toga kroz oba tranzistora porašće struja za identičnu vrednost ali izlazni napon (napon između kolektora tranzistora) se neće promeniti.

# Diferencijalni pojačavač

## Jednosmerni režim



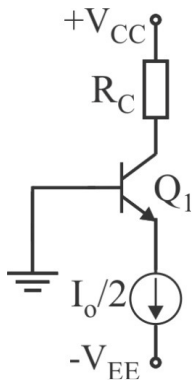
Može da se primeni bisekciona teorema za slučaj simetrične pobude ( $V_{B1} = V_{B2} = 0$ ).

$$I_E = \frac{I_0}{2}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = \frac{\beta}{1 + \beta} \cdot I_E \approx \frac{I_0}{2}$$

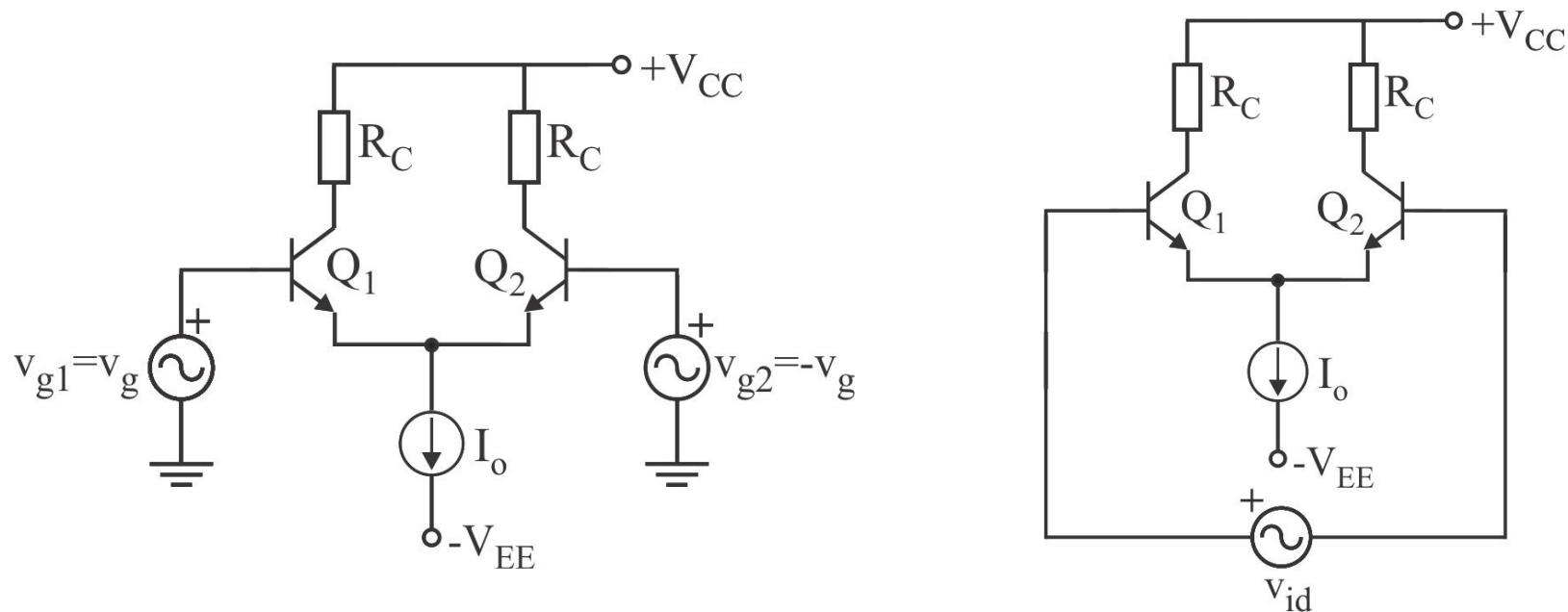
$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C - V_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot \frac{I_0}{2} + V_{BE}$$



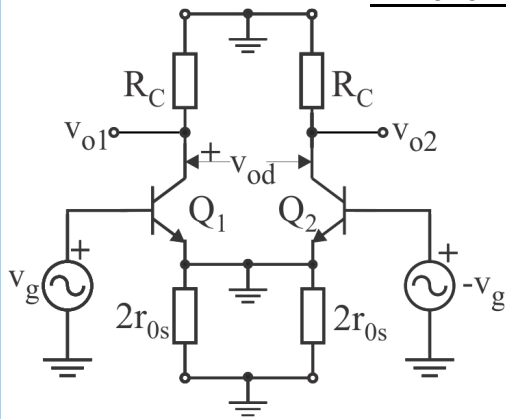
## Diferencijalni pojačavač

**Diferencijalno pojačanje** određujemo pri asimetričnoj pobudi, odnosno kada su ulazni naponi jednaki po amplitudi a suprotnog znaka  $v_{g1} = -v_{g2} = v_g$ . Diferencijalni napon je:  $v_{id} = v_{g1} - v_{g2} = 2 \cdot v_g$



## Diferencijalni pojačavač

### Diferencijalno pojačanje



Diferencijalno pojačanje određujemo pri asimetričnoj pobudi, odnosno kada su ulazni naponi jednaki po amplitudi a suprotnog znaka

$v_{g1} = -v_{g2} = v_g$ . Diferencijalni napon je:  $v_{id} = v_{g1} - v_{g2} = 2 \cdot v_g$

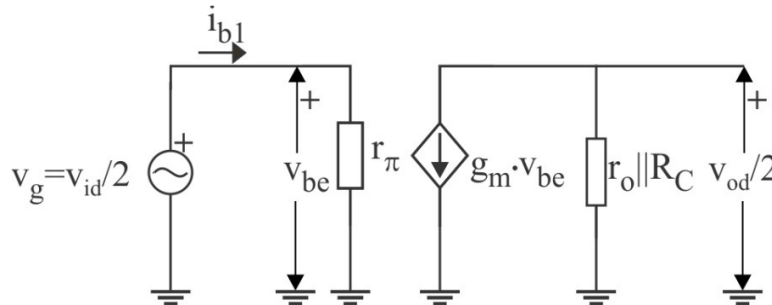
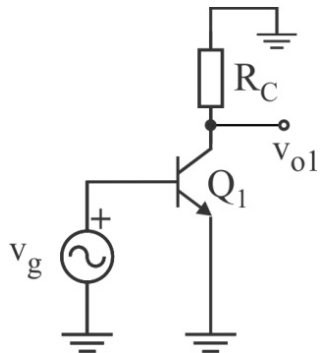
$$v_{o1} = \frac{v_{od}}{2} = -g_m \cdot R_C || r_o \cdot v_g = -g_m \cdot R_C || r_o \cdot \frac{v_{id}}{2}$$

**Diferencijalno pojačanje kada je izlaz asimetričan**, odnosno kada je izlaz na kolektoru jednog od tranzistora ( $v_{o1}$  ili  $v_{o2}$ ).

$$A_d = \frac{v_{o1}}{v_{id}} \Big|_{v_{g1} = -v_{g2}} \approx -\frac{g_m \cdot R_C}{2}$$

**Diferencijalno pojačanje kada je izlaz simetričan**, odnosno između kolektora tranzistora ( $v_{od}$ ). Ovo pojačanje ima istu vrednost kao pojačanje jednostepenog pojačavača sa zajedničkim emitorom.

$$A_d = \frac{v_{od}}{v_{id}} \Big|_{v_{g1} = -v_{g2}} \approx -g_m \cdot R_C$$



$$\frac{v_{id}}{2} = i_{b1} \cdot r_{\pi}$$

$$R_{id} = \frac{v_{id}}{i_{b1}} = 2 \cdot r_{\pi}$$

$R_{id}$  je diferencijalna ulazna otpornost

## Diferencijalni pojačavač

### Pojačanje srednje vrednosti

**Pojačanje srednje vrednosti signala AC** određuje se pri simetričnoj pobudi, odnosno kada su pobudni generatori identični  $v_{g1} = v_{g2} = v_g$ .

$$A_c = \frac{v_{o1}}{\left(\frac{v_{g1} + v_{g2}}{2}\right)} \Big|_{v_{g1} = v_{g2} = v_g} = \frac{v_{o1}}{v_g}$$

$$v_e = \left(\frac{v_{be}}{r_\pi} + g_m \cdot v_{be}\right) \cdot 2 \cdot r_{os} = v_g - v_{be}$$

$$v_{be} = \frac{v_g}{1 + \left(\frac{1}{r_\pi} + g_m\right) \cdot 2 \cdot r_{os}}$$

$$v_{o1} = -R_C \cdot g_m \cdot v_{be}$$

$$A_c = \frac{v_{o1}}{v_g} = \frac{-g_m \cdot R_C}{1 + \left(\frac{1}{r_\pi} + g_m\right) \cdot 2 \cdot r_{os}}$$

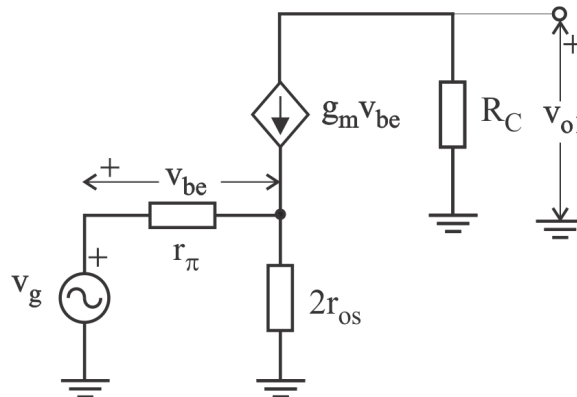
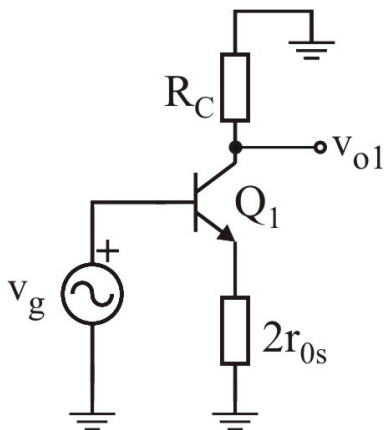
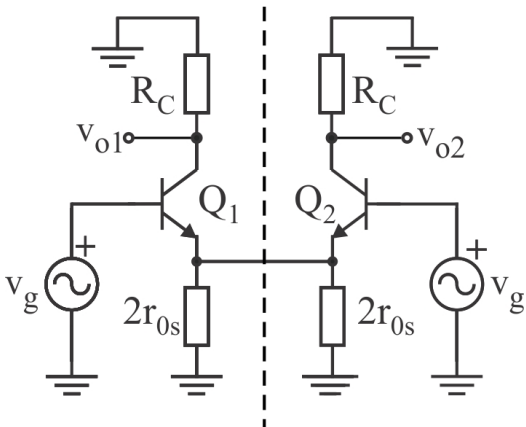
$$A_c \approx \frac{-g_m \cdot R_C}{2 \cdot r_{os} \cdot g_m}$$

$$A_c \approx -\frac{R_C}{2 \cdot r_{os}}$$

$$R_{ic} = \frac{v_{ic}}{2i_b} = \frac{r_\pi}{2} + r_{os} \cdot (\beta + 1)$$

$R_{ic}$  je ulazna otpornost za srednju vrednost signala

$$R_{ic} \approx r_{os} \cdot \beta$$





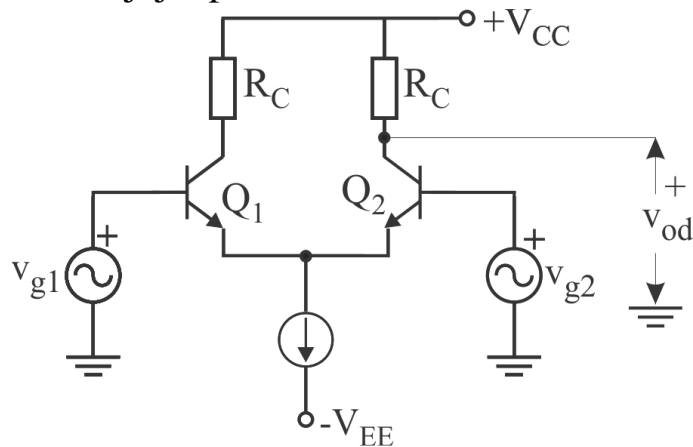
## Diferencijalni pojačavač

Merilo kvaliteta diferencijalnog pojačavača je **faktor potiskivanja (CMRR – common mode rejection ratio)** koji predstavlja apsolutnu vrednost odnos diferencijalnog pojačanja i pojačanja srednje vrednosti. Što je veća vrednost faktora potiskivanja diferencijalni pojačavač je kvalitetniji.

$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

Diferencijalni pojačavač sa simetričnim izlazom (izlaz između kolektora tranzistora) ima beskonačno veliki faktor potiskivanja ukoliko su parametri tranzistora i kolektorski otpornici identični.

Ukoliko se razmatra asimetričan izlaz (izlaza na kolektoru jednog od tranzistora) faktor potiskivanja će biti srazmeran unutrašnjoj otpornosti izvora konstantne struje i transkonduktansi tranzistora u diferencijalnom paru.



$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = \frac{\frac{1}{2} \cdot g_m \cdot R_C}{\frac{R_C}{2 \cdot r_{os}}}$$

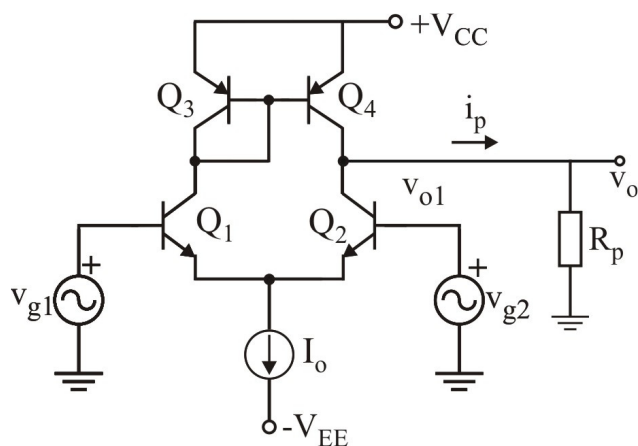
$$CMRR \approx r_{os} \cdot g_m$$

$r_{os}$  je dinamička otpornost izvora konstantne struje

$g_m$  je transkonduktansa tranzistora u diferencijalnom paru (Q1 i Q2)

## Diferencijalni pojačavač sa aktivnim opterećenjem

U integriranoj tehnologiji umesto kolektorskih otpornika koristi se strujno ogledalo. Tranzistori koji čine strujno ogledalo Q3 i Q4 čine takozvano **aktivno opterećenje**. Strujno ogledalo preslikava struju kolektora tranzistora Q3 u struju kolektora tranzistora Q4 tako da je izlazna struja,  $i_p$ , jednaka razlici struja kolektora tranzistora u diferencijalnom paru Q1 i Q2.



$$v_{BE3} = v_{BE4} \Rightarrow i_{c3} = i_{c4}$$

$$i_{c1} = i_{c3} + i_{B3} + i_{B4} \approx i_{c3}$$

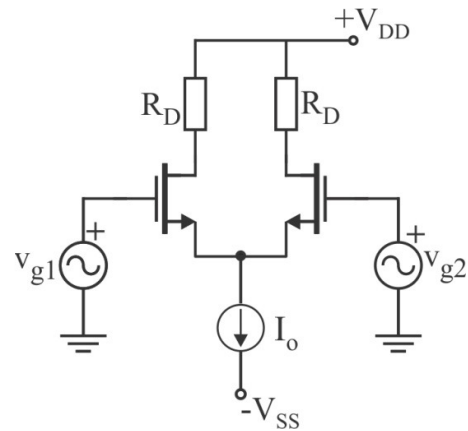
Izlazna struja,  $i_p$ , jednaka razlici struja kolektora tranzistora u diferencijalnom paru Q1 i Q2:

$$i_p = i_{c4} - i_{c2} = i_{c1} - i_{c2}$$

$$i_p = i_{c1} - i_{c2} = g_{m1} \cdot v_{g1} - g_{m2} \cdot v_{g2} = v_{id} \cdot g_m$$

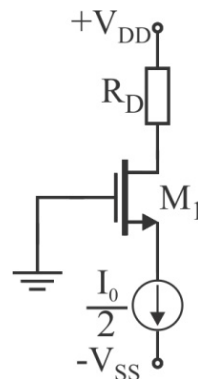
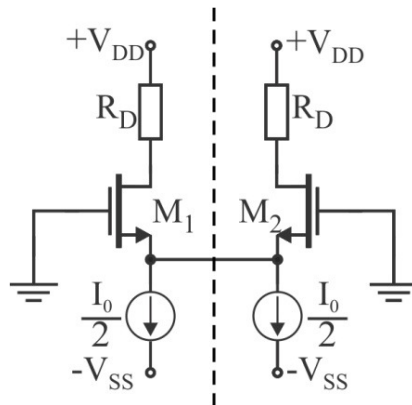
$$A_d = \frac{v_o}{v_{id}} = g_m \cdot R_p$$

## Diferencijalni pojačavač



Polarizacija diferencijalnog pojačavača sa MOSFET tranzistorima

S obzirom da je kolo simetrično može se primeniti bisekciona teorema.



$$A \cdot (V_{GS} - V_t)^2 = I_D = \frac{I_o}{2}$$

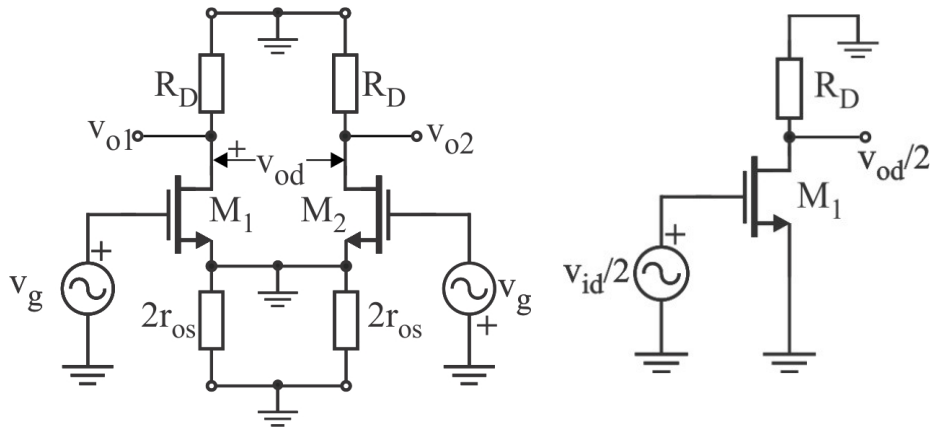
$$V_{GS} = V_t + \sqrt{\frac{I_o}{2A}}$$

$$V_D = V_{DD} - R_D \cdot I_D$$

## Diferencijalni pojačavač

### Diferencijalno pojačanje

Pojačanje srednje vrednosti određuje se pri simetričnoj pobudi. Rešenje je dobijeno primenom bisekcionne teoreme.



$$v_{o1} = -g_m \cdot v_{gs1} \cdot r_o \parallel R_D$$

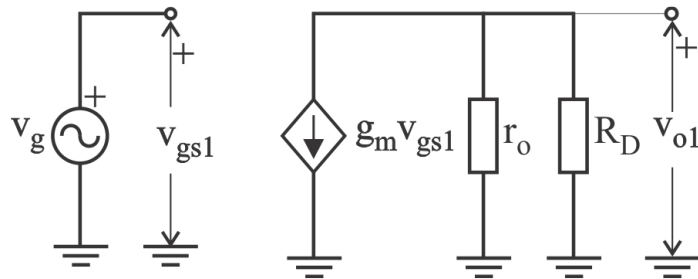
$$v_{gs} = v_g = \frac{v_{id}}{2} \quad v_{od} = v_{o1} - v_{o2} = 2 \cdot v_{o1}$$

$$\frac{v_{od}}{2} = -g_m \cdot R_D \parallel r_o \cdot \frac{v_{id}}{2} \approx -g_m \cdot R_D \cdot \frac{v_{id}}{2}$$

jer je  $r_o \gg R_D$

Diferencijalno pojačanje kada je izlaz simetričan, odnosno između drejnova tranzistora ( $v_{od}$ ).

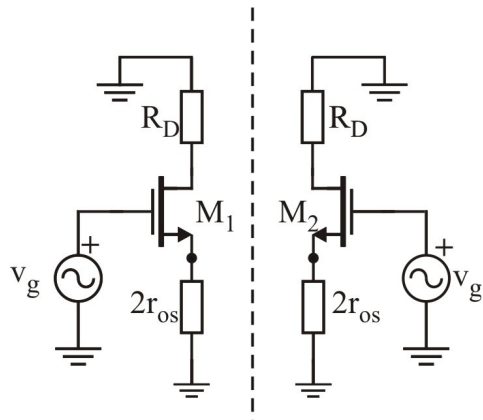
$$A_d = \left. \frac{v_{od}}{v_{id}} \right|_{v_{g1} = -v_{g2}} = -g_m \cdot R_D$$



Diferencijalno pojačanje kada je izlaz asimetričan, odnosno na drejnu jednog od tranzistora ( $v_{o1}$ ).

$$A_d = \left. \frac{v_{o1}}{v_{id}} \right|_{v_{g1} = -v_{g2}} = -\frac{g_m \cdot R_D}{2}$$

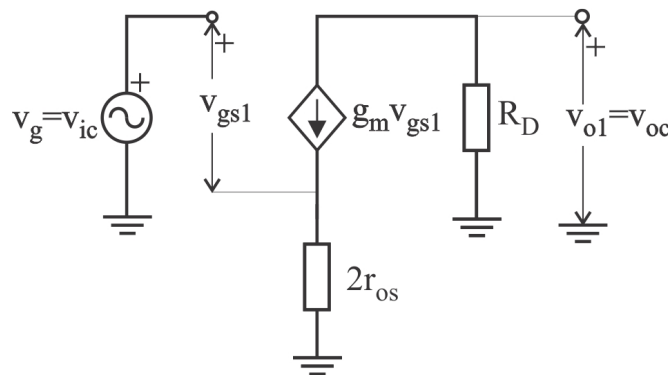
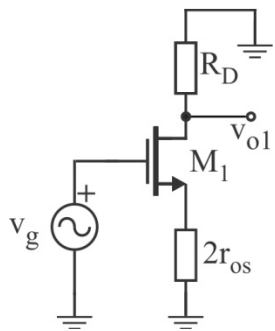
## Diferencijalni pojačavač



### Pojačanje srednje vrednosti

Pojačanje srednje vrednosti određuje se pri simetričnoj pobudi.

Pojačanje  $A_C$  je sračunato za slučaj kada je izlaz asimetričan, odnosno izlazni napon potencijal drejna jednog od tranzistora.



$$v_{gs} = v_{ic} - v_{gs} \cdot g_m \cdot 2 \cdot r_{os}$$

$$v_{oc} = -R_d \cdot i_d = -R_d \cdot g_m \cdot v_{gs}$$

$$v_{oc} = v_{ic} \cdot \left[ \frac{-g_m \cdot R_D}{1 + 2 \cdot g_m \cdot r_{os}} \right]$$

$$A_C = \frac{v_{oc}}{v_{ic}} = \frac{-g_m \cdot R_D}{1 + 2 \cdot g_m \cdot r_{os}}$$

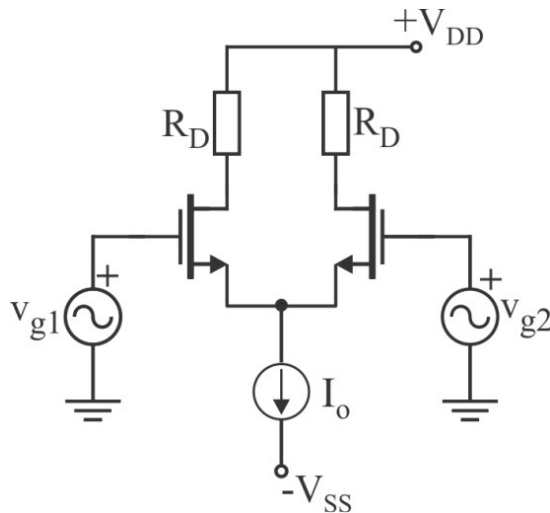
$$g_m \cdot r_{os} \gg 1$$

$$A_C = \frac{v_{oc}}{v_{ic}} = -\frac{R_D}{2 \cdot r_{os}}$$

## Diferencijalni pojačavač

Diferencijalni pojačavač sa simetričnim izlazom ima beskonačno veliki faktor potiskivanja ukoliko su parametri tranzistora i kolektorski otpornici identični, jer je pojačanje srednje vrednosti u tom slučaju nula. Ukoliko se razmatra asimetričan izlaz (izlaz na dreznu jednog od tranzistora) faktor potiskivanja će biti srazmeran unutrašnjoj otpornosti izvora konstantne struje,  $r_{os}$ , i transkonduktansi tranzistora u diferencijalnom paru,  $g_m$ .

Svaka nesimetrija u kolu odnosno razlika u parametrima prouzrokuje pojačanje srednje vrednosti različito od nule. U praksi uvek postoje razlike u parametrima komponenata diferencijalnog pojačavača.



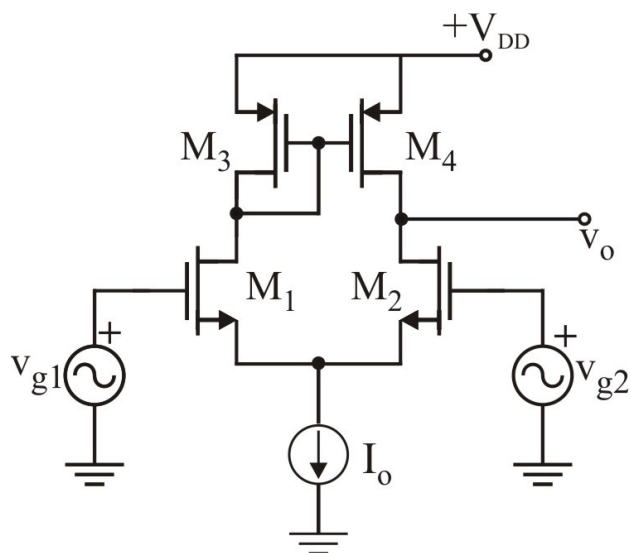
$$A_d = -\frac{g_m \cdot R_D}{2}$$

$$A_c \approx \frac{-R_D}{2 \cdot r_{os}}$$

$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = g_m \cdot r_{os}$$

$$CMRR \approx r_{os} \cdot g_m$$

## Diferencijalni pojačavač sa aktivnim opterećenjem



U integrisanoj tehnologiji se umesto otpornika kao opterećenje koristi strujno ogledalo (p-kanalni tranzistori  $M_3$  i  $M_4$ ). Strujno ogledalo preslikava struju drejna tranzistora  $M_3$  u struju drejna tranzistora  $M_4$ . Izlazna struja jednaka je razlici struja tranzistora u diferencijalnom paru  $M_1$  i  $M_2$ . Tranzistori koji čine strujno ogledalo  $M_3$  i  $M_4$  čine takozvano **aktivno opterećenje**. Ovo kolo naziva se **CMOS diferencijalni pojačavač**.

## **Elementarna pitanja**

- 1. Diferencijalni pojačavač sa bipolarnim tranzistorom. (električna šema, izrazi za: diferencijalno pojačanje, pojačanje srednje vrednosti i faktor potiskivanja).**

## **Ostala ispitna pitanja**

- 2. Srednja vrednost signala i diferencijalni signal; Bisekciona teorema.**
- 3. Izvor konstantne struje realizovan strujnim ogledalom (kolo sa bipolarnim tranzistorima).**
- 4. Diferencijalno pojačanje, pojačanje srednje vrednosti i faktor potiskivanja diferencijalnog pojačavača sa MOSFET tranzistorima.**
- 5. Diferencijalni pojačavač sa aktivnim opterećenjem.**