

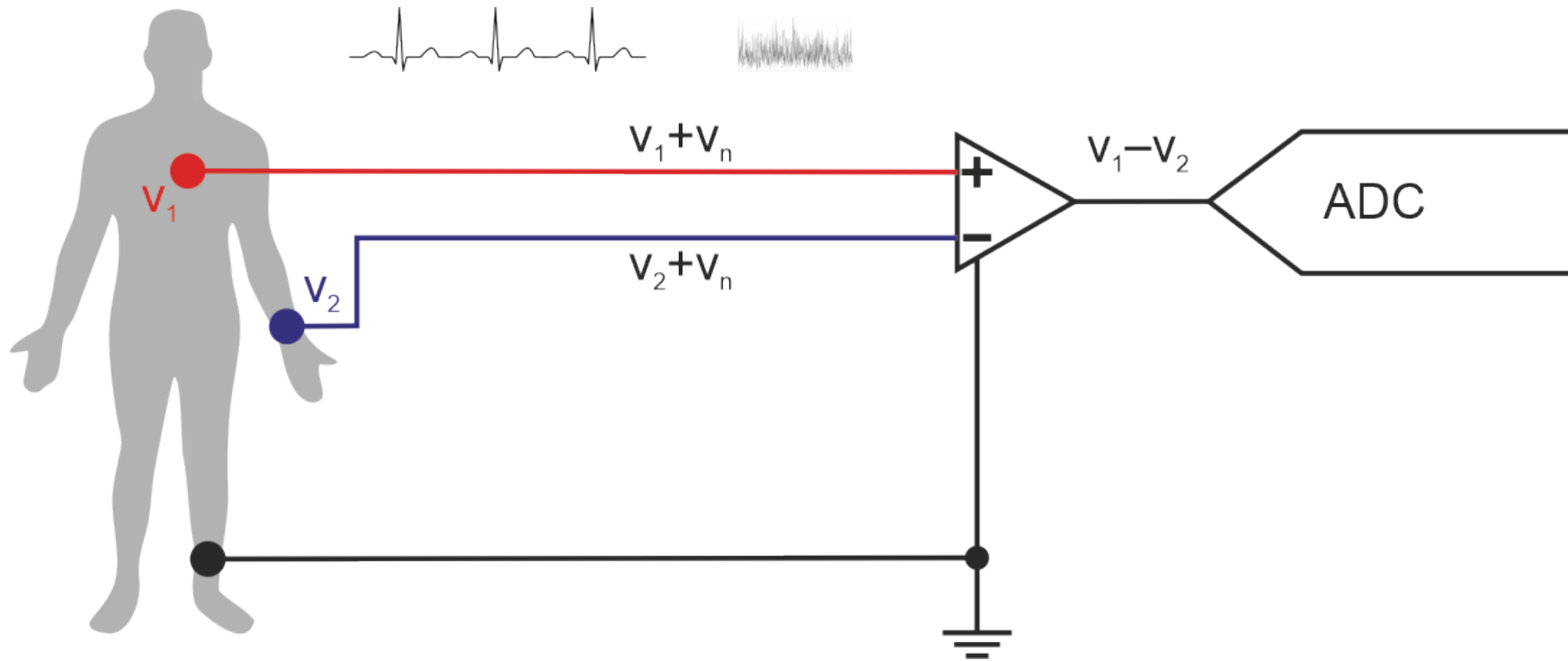


Diferencijalni pojačavači

Marko Dimitrijević

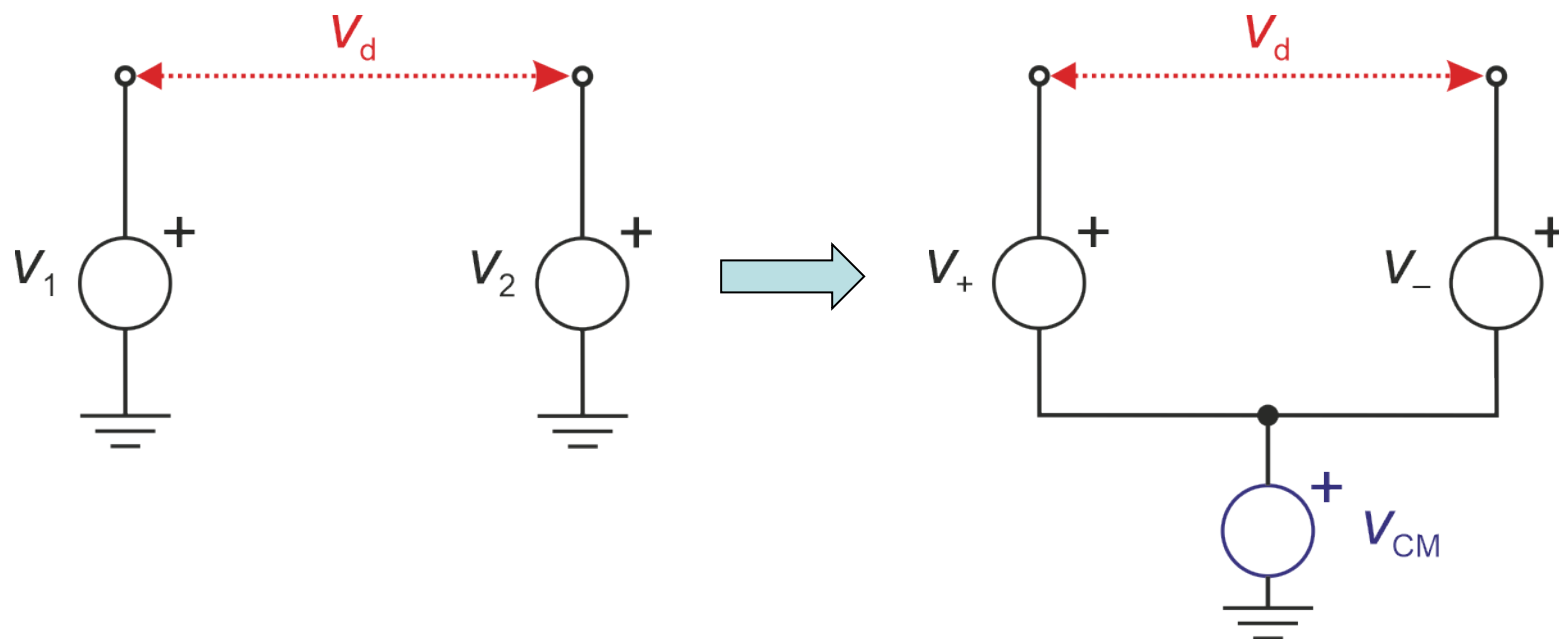
Smetnje i šum

- Koristan signal je degradiran smetnjama i šumom.



Diferencijalni naponi i napon srednje vrednosti

- Diferencijalni naponi i napon srednje vrednosti signala:



$$v_d = v_1 - v_2$$

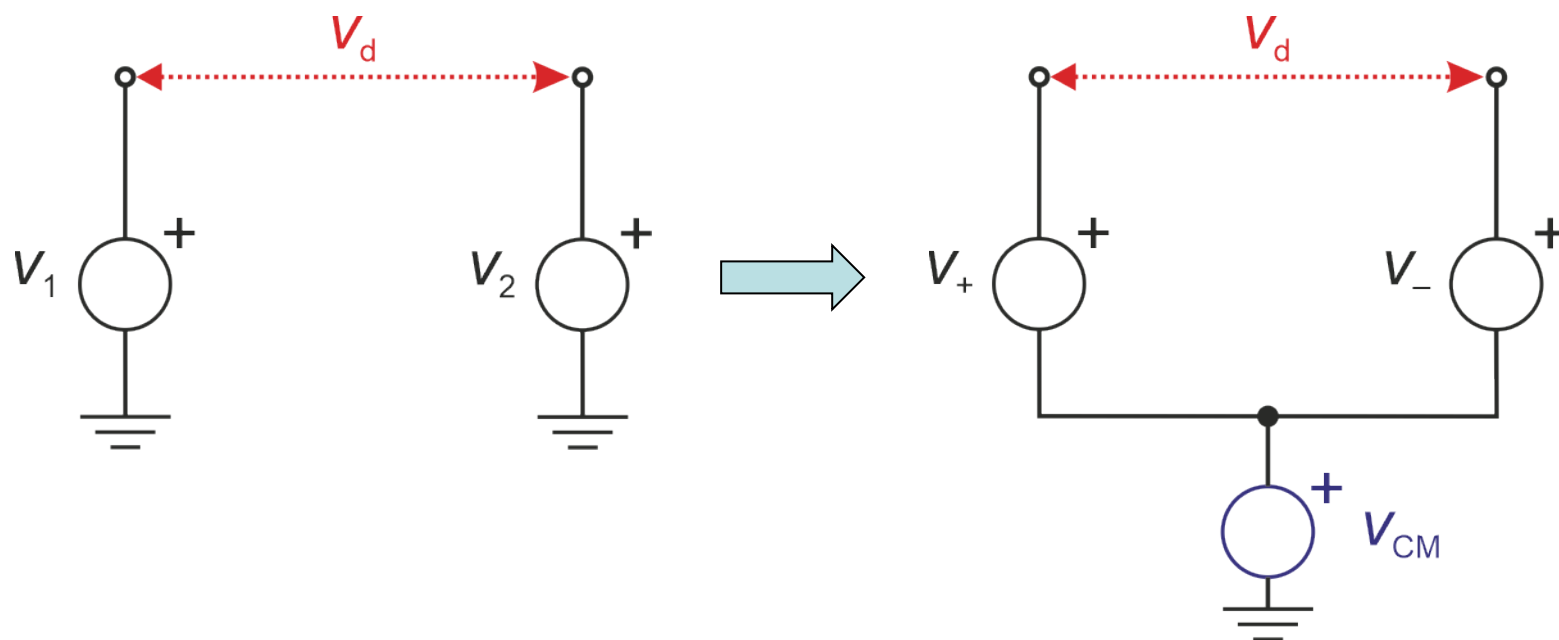
$$v_+ = \frac{1}{2} v_d$$

$$v_- = -\frac{1}{2} v_d$$

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

Diferencijalni naponi i napon srednje vrednosti

- Diferencijalni naponi i napon srednje vrednosti signala



$$v_1 = \frac{v_d}{2} + v_{CM}$$

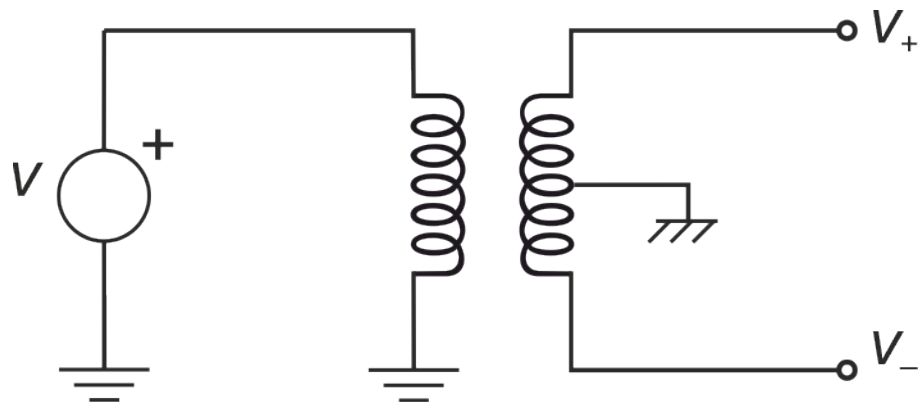
$$v_2 = -\frac{v_d}{2} + v_{CM}$$

$$v_1 = \frac{1}{2}(v_+ - v_-) + v_{CM}$$

$$v_2 = \frac{1}{2}(v_- - v_+) + v_{CM}$$

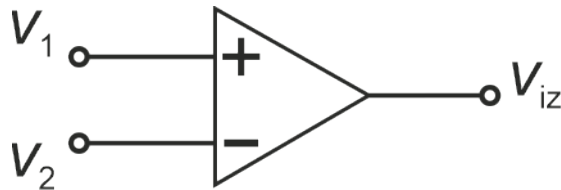
Diferencijalni naponi

- Naponi v_+ i v_- su jednaki po apsolutnoj vrednosti, a suprotnog znaka.
- Srednja vrednosti napona v_1 i v_2 je v_{CM} .
- Konverzija nesimetričnog u diferencijalni signal:



Diferencijalno pojačanje

- Diferencijalno pojačanje A_d i pojačanje srednje vrednosti A_{CM}

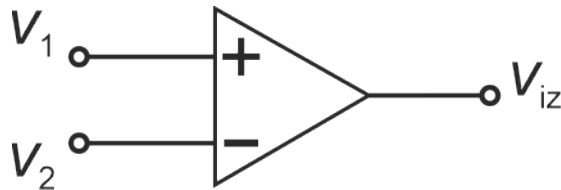


$$v_{iz} = A_d(v_1 - v_2) + A_{CM} \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$A_d \gg A_{CM}$$

Faktor potiskivanja srednje vrednosti signala

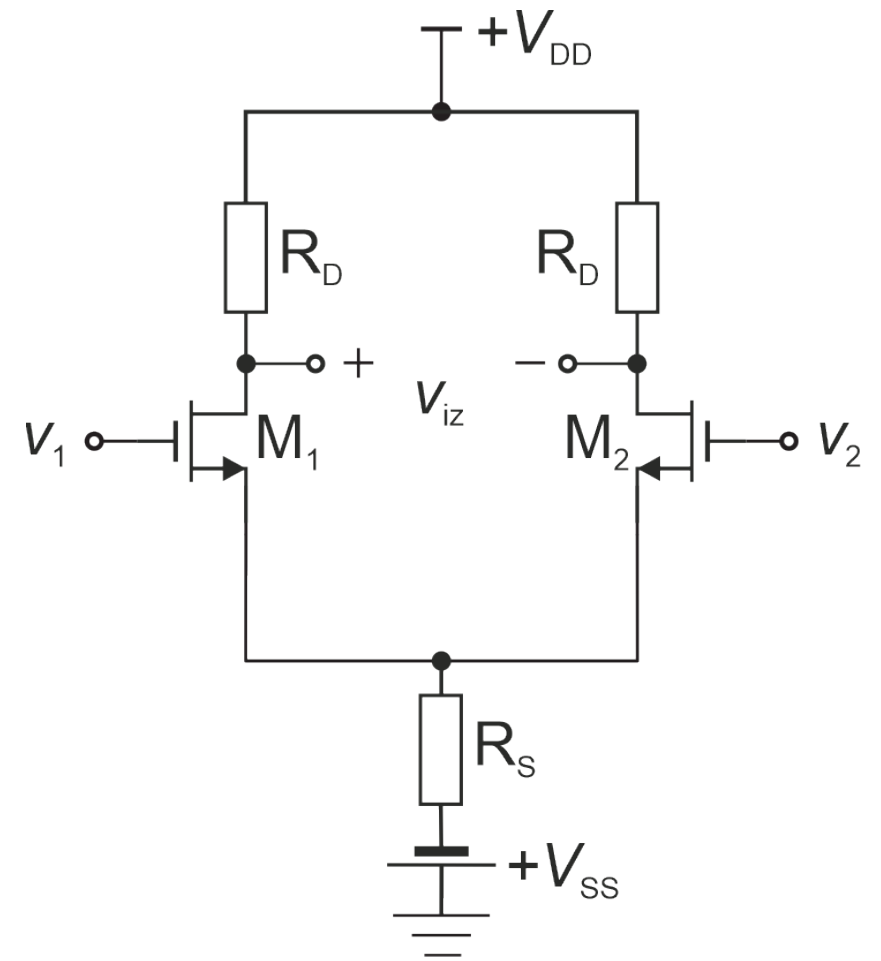
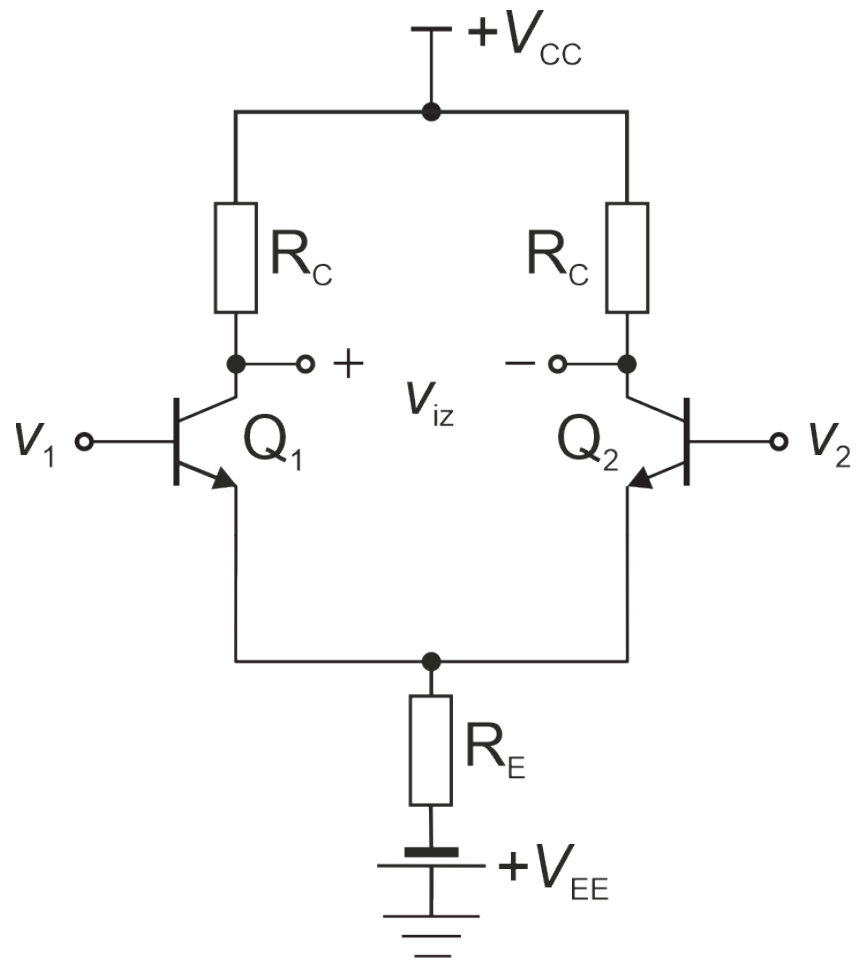
- Faktor potiskivanja srednje vrednosti signala – **Common Mode Rejection Ratio (CMRR)**



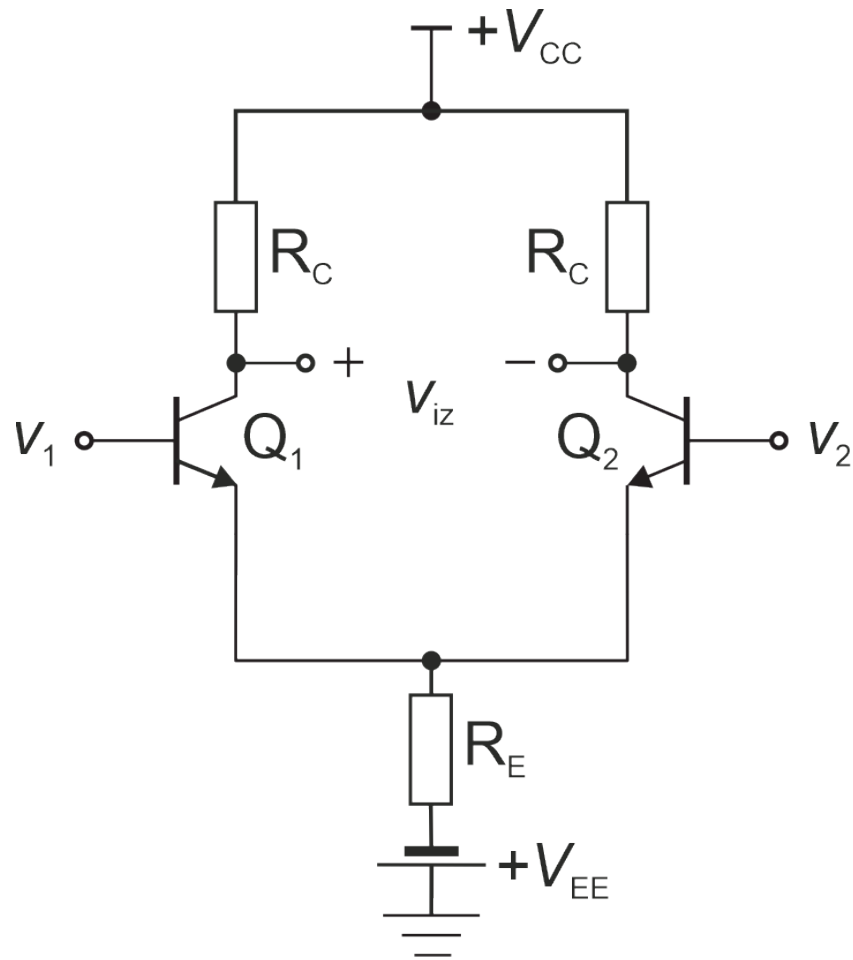
$$\text{CMRR} = \frac{A_d}{A_{\text{CM}}}$$

$$\text{CMRR} [\text{dB}] = 20 \log \frac{A_d}{A_{\text{CM}}}$$

Diferencijalni pojačavač

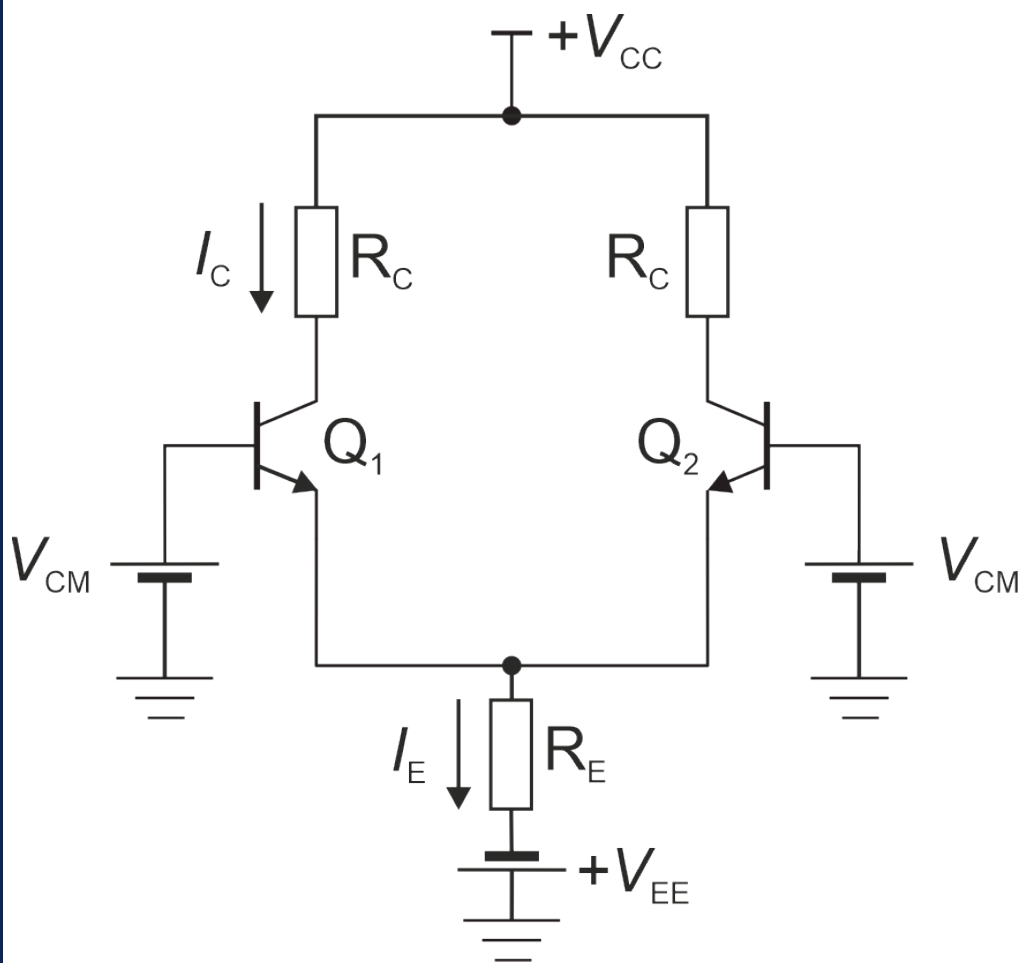


Diferencijalni pojačavač sa bipolarnim tranzistorima



- Analiza za jednosmerni režim.
- Analiza za signale velikih amplituda.
- Analiza za signale malih amplituda – diferencijalni signal.
- Analiza za malih amplituda – srednja vrednost signala.

Diferencijalni pojačavač



- Jednosmerni režim.
- V_{CM} je jednosmerna komponenta napona srednje vrednosti.

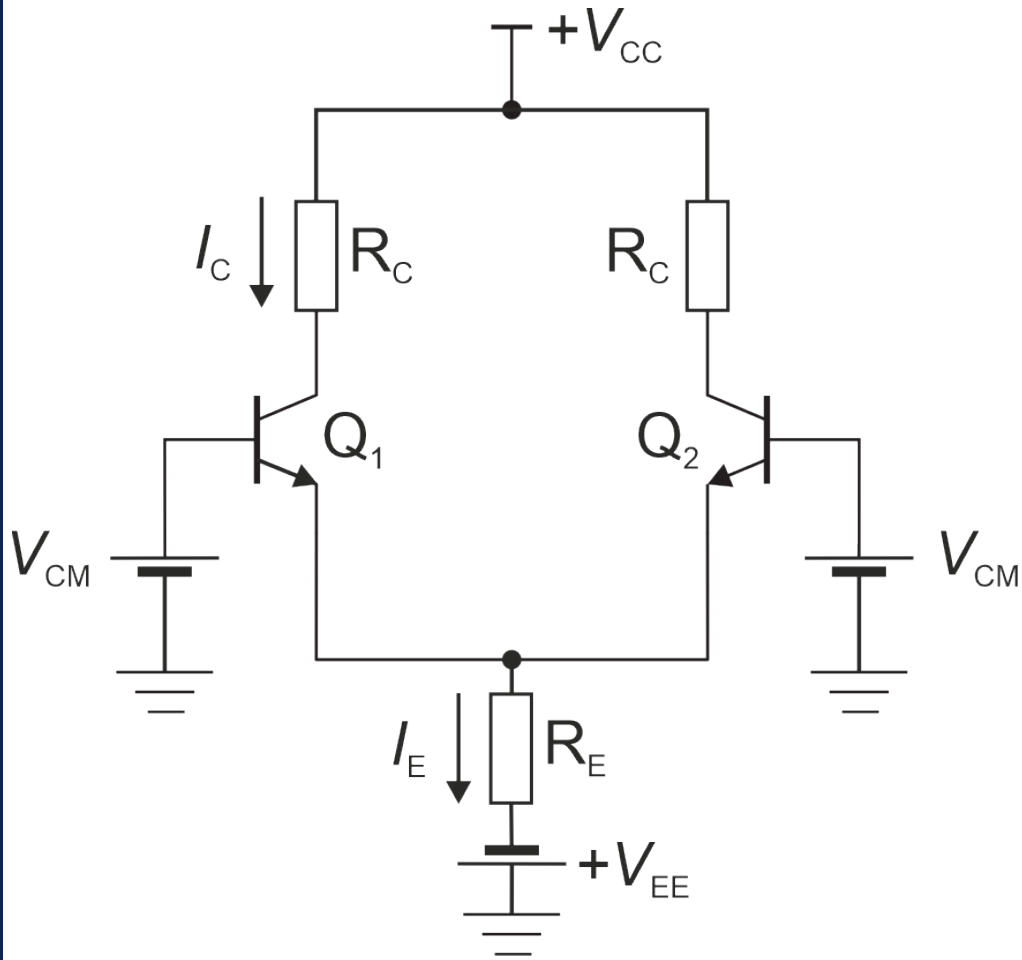
$$V_1 = V_2 = V_{CM}$$

$$I_E = \frac{V_{CM} - V_{BE} + V_{EE}}{R_E}$$

$$V_{C1} = V_{CC} - I_{C1}R_C$$

$$V_{C2} = V_{CC} - I_{C2}R_C$$

Diferencijalni pojačavač – polarizacija



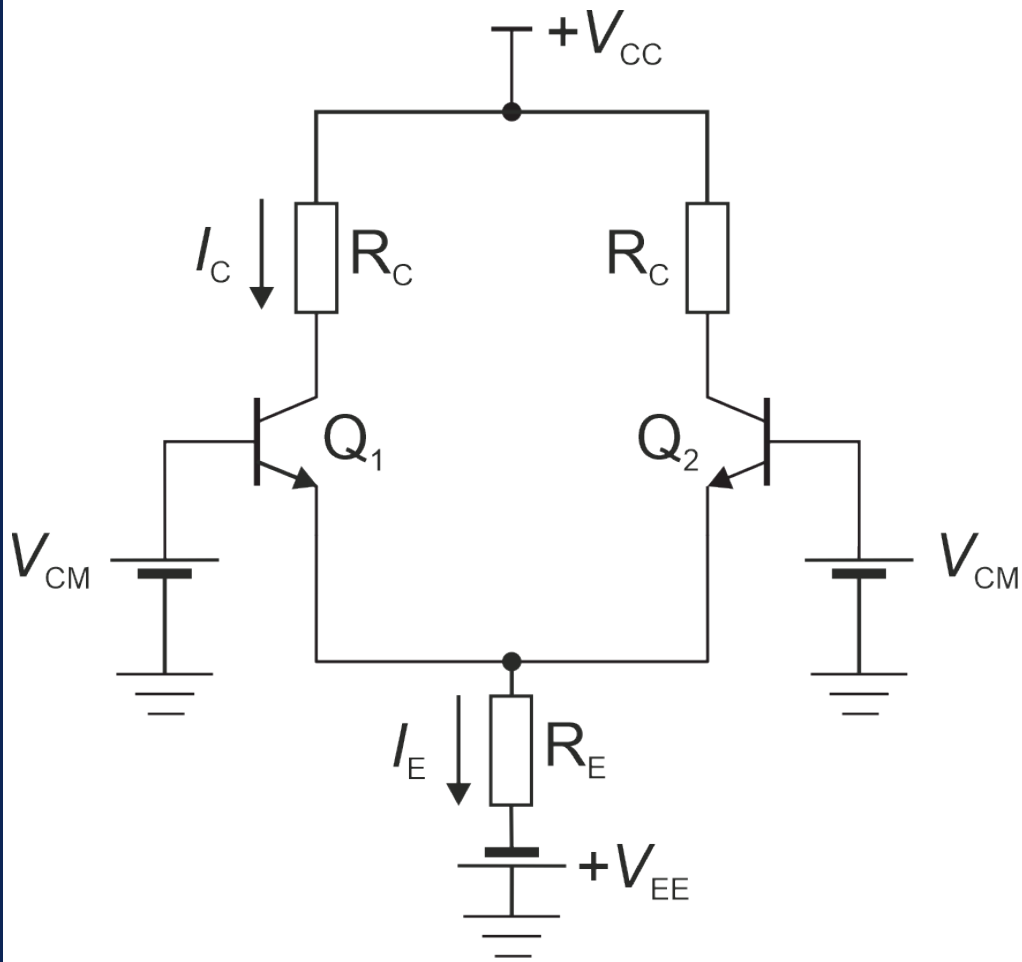
- Kolo je simetrično, Q_1 i Q_2 su identični, R_C ima istu otpornost u obe kolektorske grane:

$$I_{C1} = I_{C2} = I_C$$

$$V_{C1} = V_{C2}$$

$$I_{E1} = I_{E2} = \frac{1}{2} I_E$$

Diferencijalni pojačavač – polarizacija



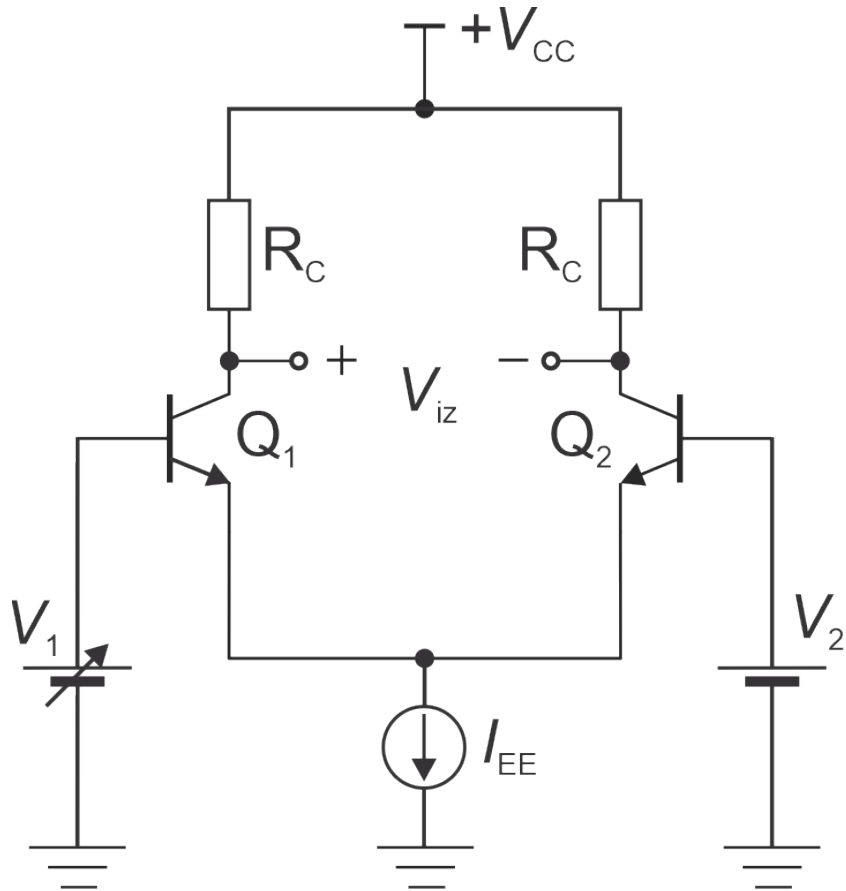
$$I_C = \frac{1}{2} \frac{\beta}{\beta + 1} I_E \approx \frac{I_E}{2}$$

$$I_C = \frac{V_{CM} + V_{EE} - V_{BE}}{2R_E}$$

$$V_C = \frac{R_C}{2R_E} (V_{CM} + V_{EE} - V_{BE})$$

$$V_{C1} - V_{C2} = 0$$

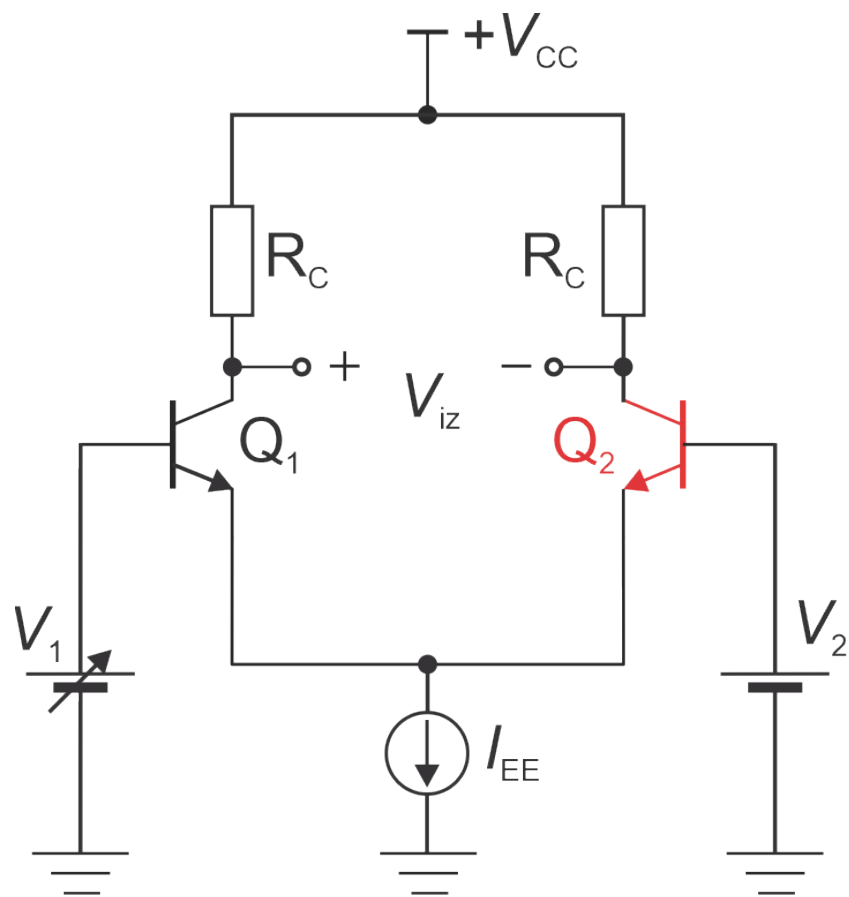
Diferencijalni pojačavač – signali velikih amplituda



- V_1 i V_2 su signali velikih amplituda, $V_1 \neq V_2$.
- Simetrija kola je narušena, struje emitora (samim tim i struje kolektora) tranzistora nisu jednake.
- Neka je $V_1 > V_2$, V_2 je konstantno a V_1 se povećava, pošto su emitori na istom potencijalu (V_E), sledi

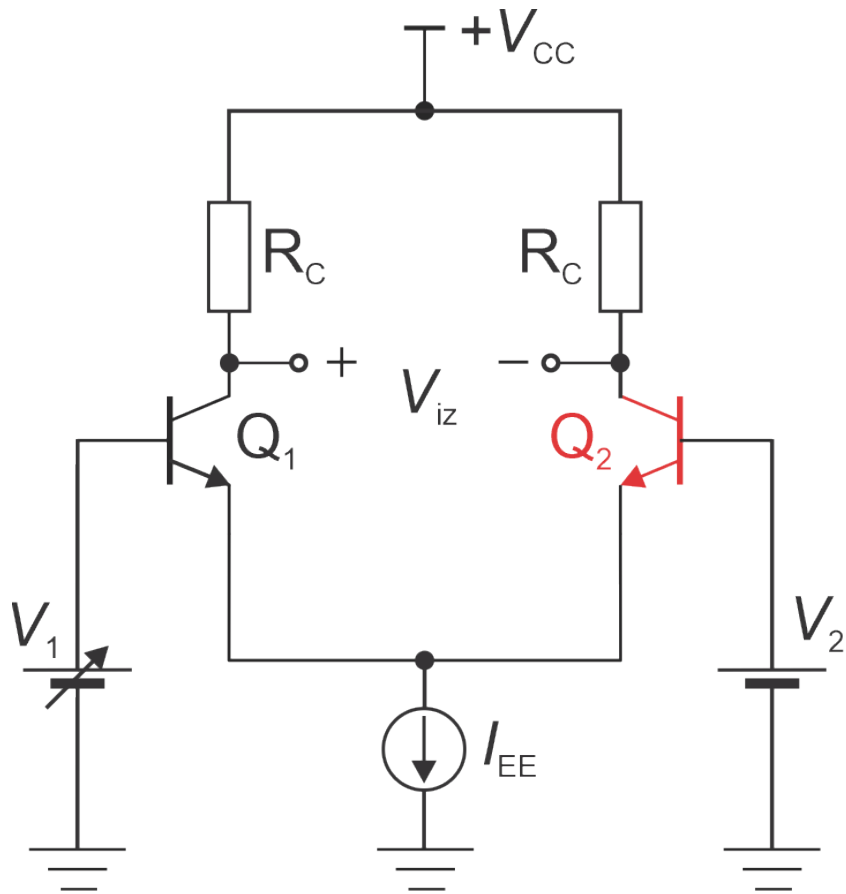
$$V_E = V_1 - V_{BE1}$$

Diferencijalni pojačavač – veliki signali



- Kako je napon direktno polarisanog emitorskog spoja približno konstantan, povećavanjem napona V_1 povećava se napon V_E .
- Ukoliko je emitor na višem potencijalu od baze tranzistora Q_2 , $V_E > V_2 - V_{BE2}$, Q_2 nije više u aktivnom režimu, već u zakočenju.

Diferencijalni pojačavač – veliki signali



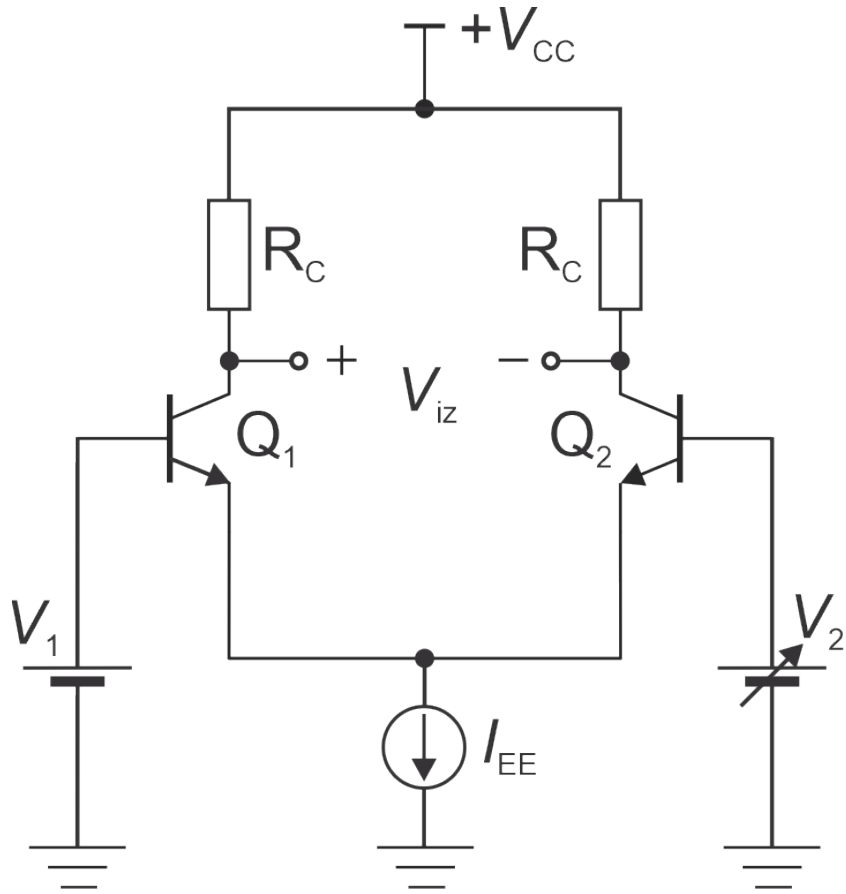
- U ovom slučaju imamo:

$$I_{C1} = I_{EE}, \quad I_{C2} = 0$$

$$V_{iz+} = V_{CC} - R_C I_{EE}$$

$$V_{iz-} = V_{CC}$$

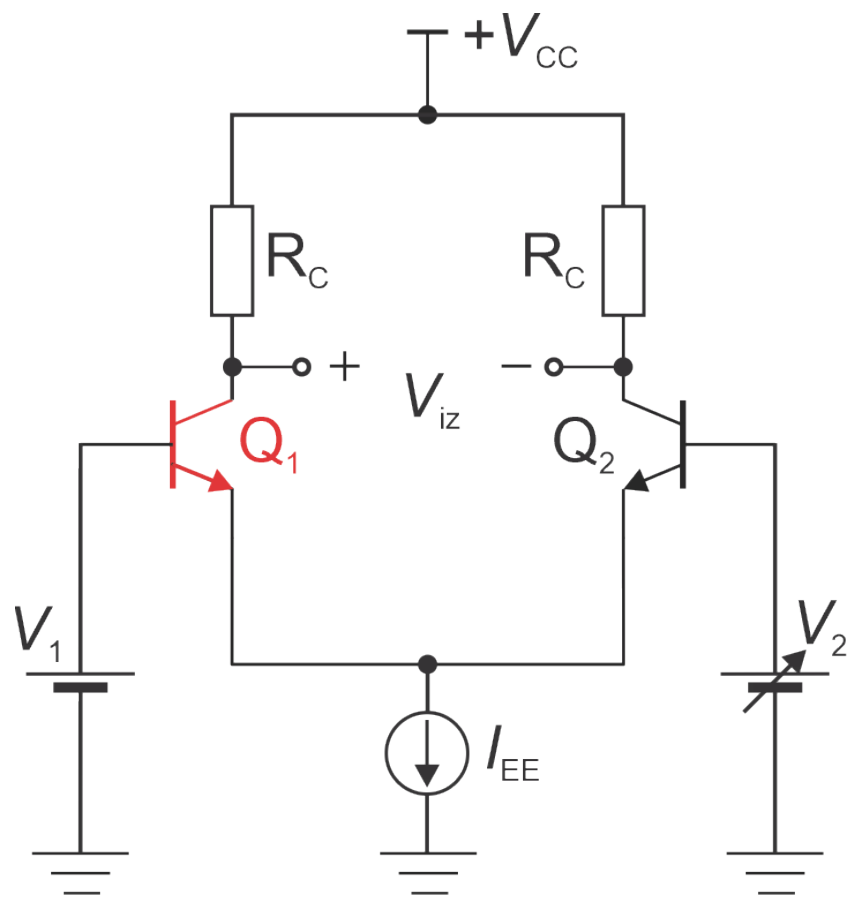
Diferencijalni pojačavač – veliki signali



- Neka je sada $V_1 < V_2$, V_1 je konstantno a V_2 se povećava, pošto su emitori na istom potencijalu (V_E), sledi:

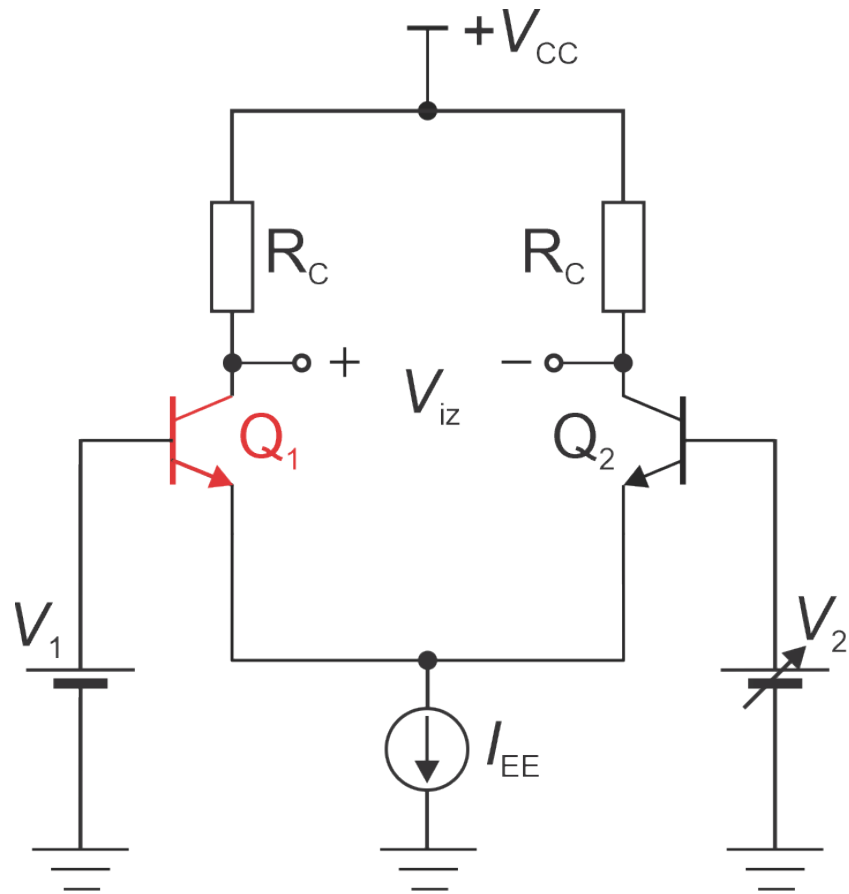
$$V_E = V_2 - V_{BE2}$$

Diferencijalni pojačavač – veliki signali



- Kako je napon direktno polarisanog emitorskog spoja približno konstantan, povećavanjem napona V_2 povećava se napon V_E .
- Ukoliko je emitor na višem potencijalu od baze tranzistora Q_1 , $V_E > V_1 - V_{BE1}$, Q_1 nije više u aktivnom režimu, već u zakočenju.

Diferencijalni pojačavač – veliki signali



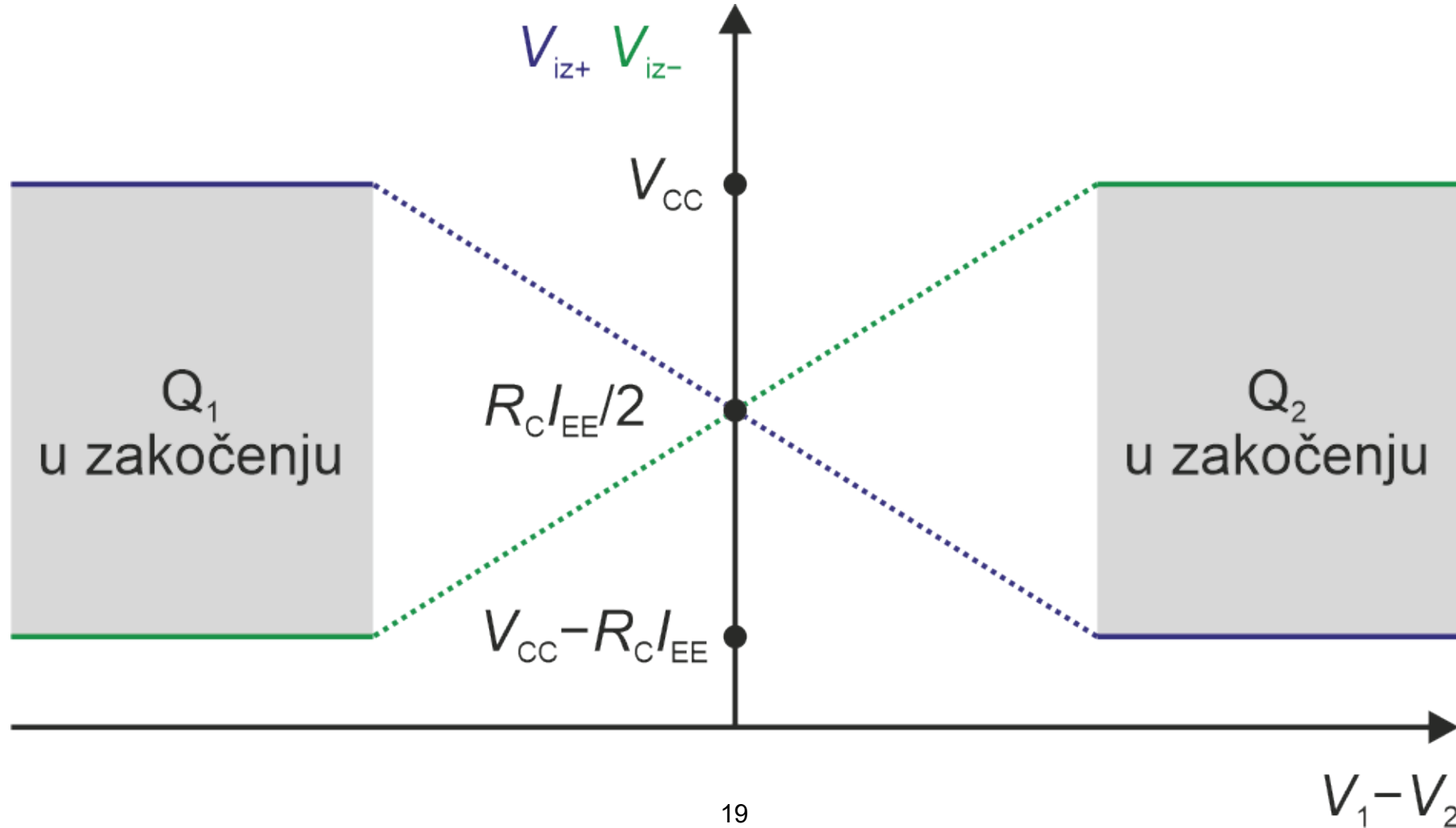
- U ovom slučaju imamo:

$$I_{C1} = 0, \quad I_{C2} = I_{EE}$$

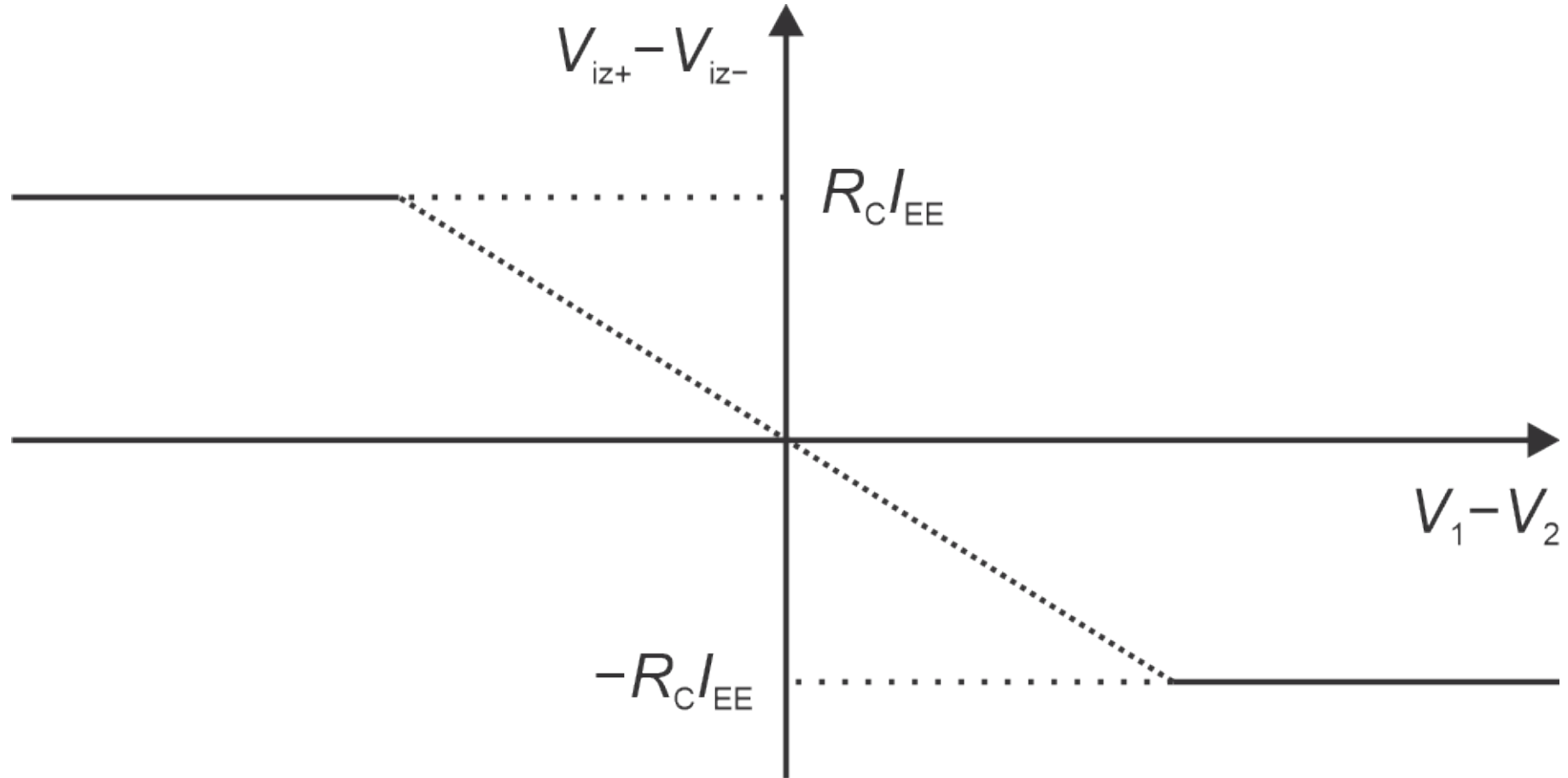
$$V_{iz+} = V_{CC}$$

$$V_{iz-} = V_{CC} - R_C I_{EE}$$

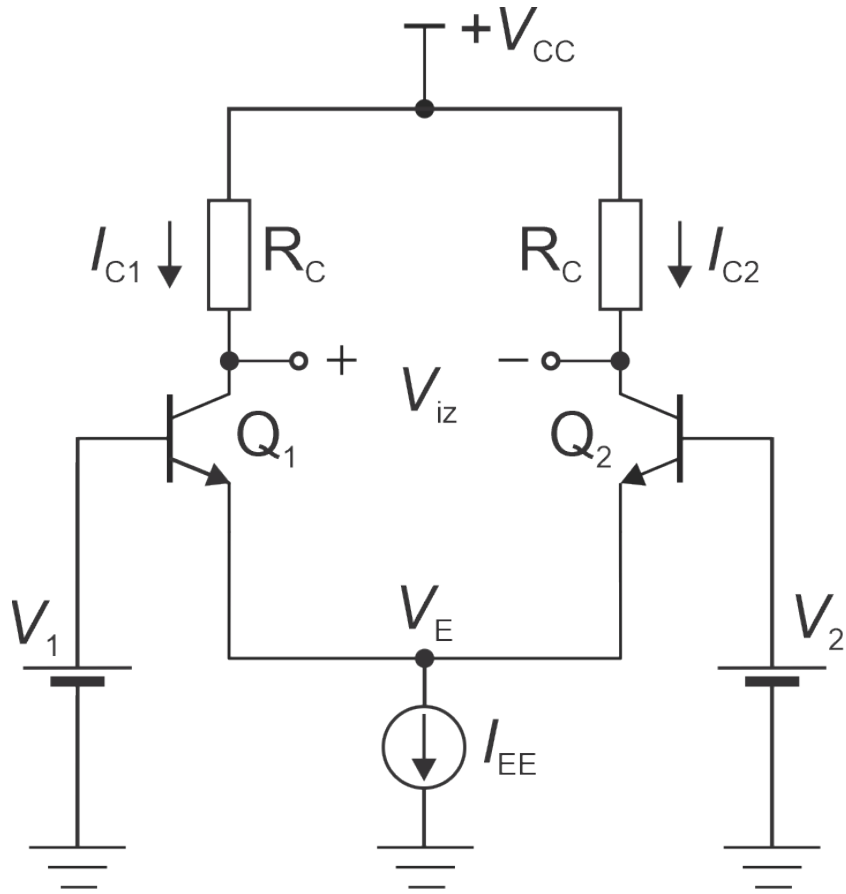
Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



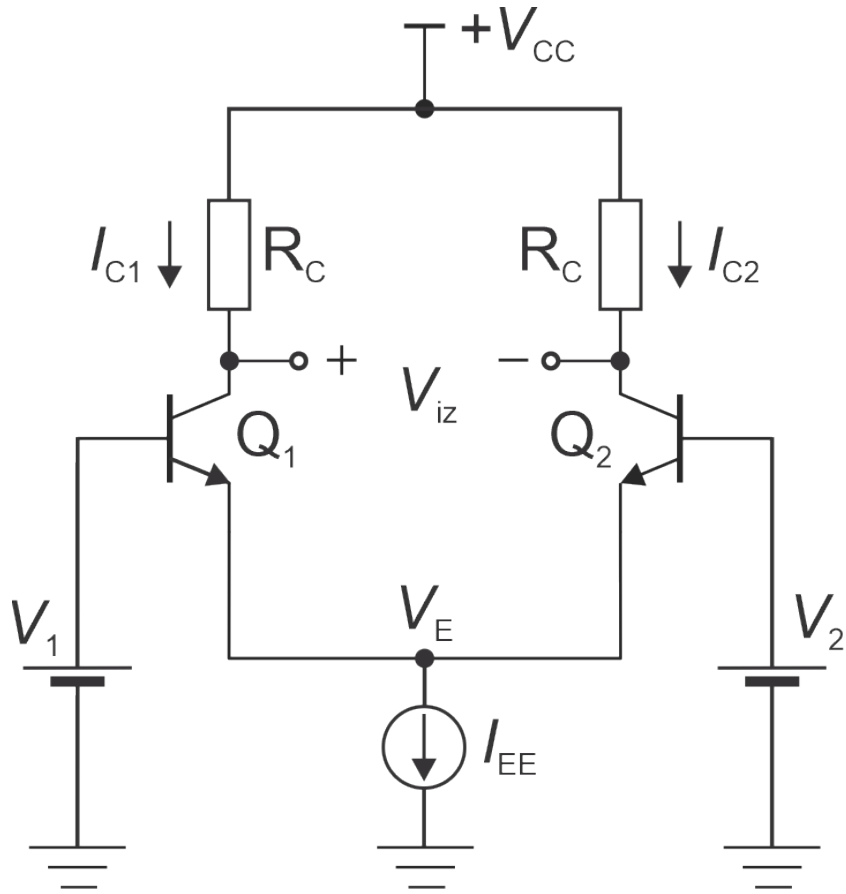
$$V_E = V_1 - V_{BE1} = V_2 - V_{BE2}$$

$$V_1 - V_2 = V_{BE1} - V_{BE2}$$

$$I_{C1} = I_S \exp \frac{V_{BE1}}{V_T}, \quad I_{C2} = I_S \exp \frac{V_{BE2}}{V_T}$$

$$V_{BE1} = V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_S}, \quad V_{BE2} = V_T \ln \frac{I_{C2}}{I_S}$$

Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

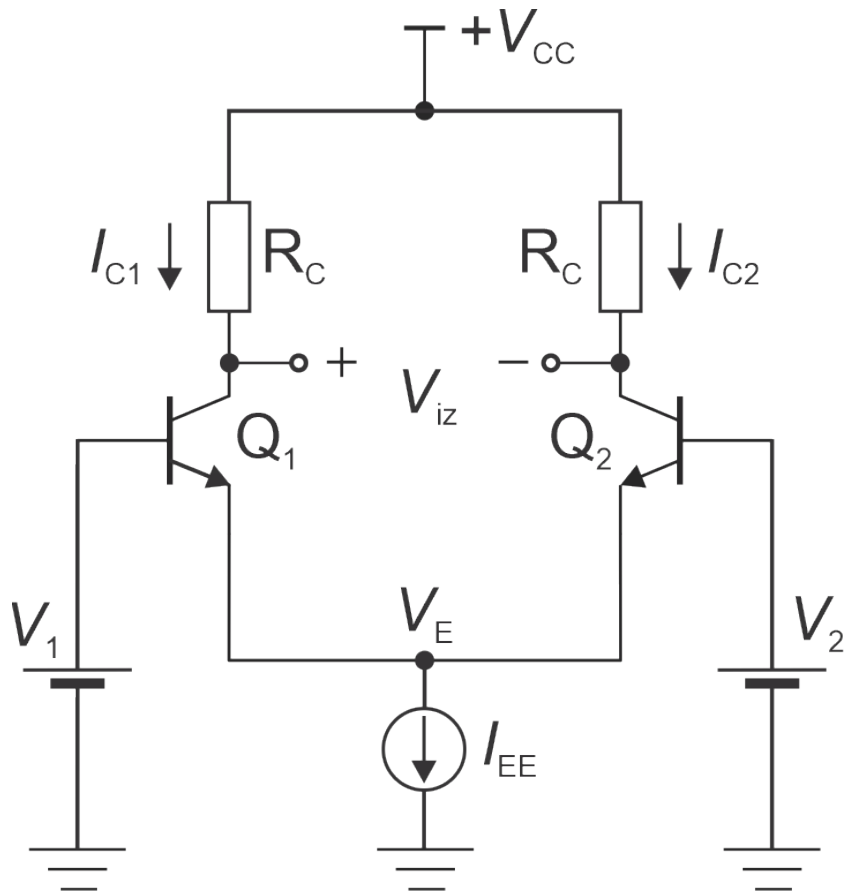


$$V_1 - V_2 = V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_S} - V_T \ln \frac{I_{C2}}{I_S}$$

$$V_1 - V_2 = V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}}$$

$$I_{C1} = I_{C2} \exp \frac{V_1 - V_2}{V_T}, \quad I_{C2} = I_{C1} \exp \frac{V_2 - V_1}{V_T}$$

Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



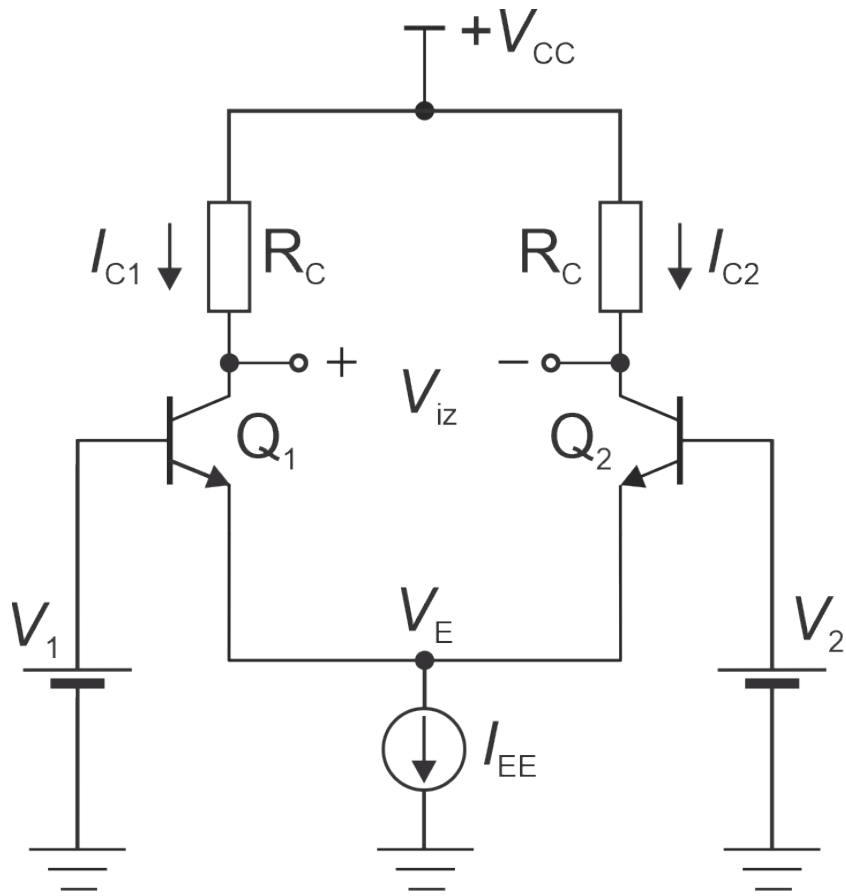
$$\beta \gg 1, \quad I_{C1} \approx I_{E1}, \quad I_{C2} \approx I_{E2}$$

$$I_{C1} + I_{C2} = I_{EE}$$

$$I_{C1} = I_{EE} - I_{C1} \exp \frac{V_2 - V_1}{V_T}$$

$$I_{C2} = I_{EE} - I_{C2} \exp \frac{V_1 - V_2}{V_T}$$

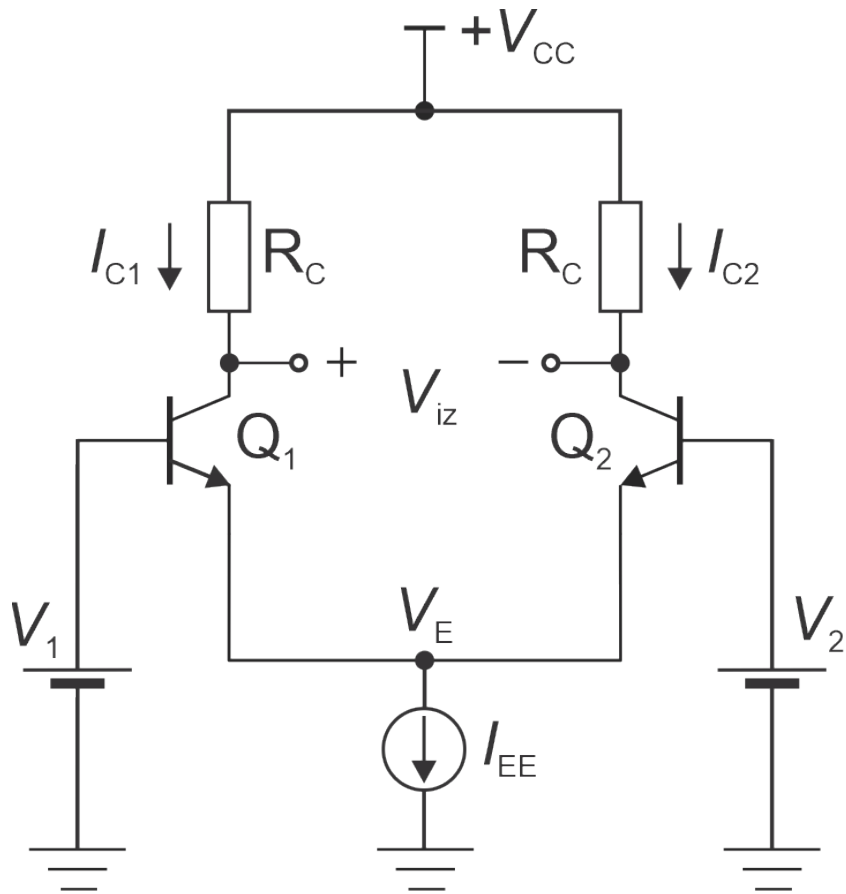
Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



$$I_{C1} = \frac{I_{EE}}{1 + \exp\left(\frac{V_2 - V_1}{V_T}\right)}$$

$$I_{C2} = \frac{I_{EE}}{1 + \exp\left(\frac{V_1 - V_2}{V_T}\right)}$$

Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

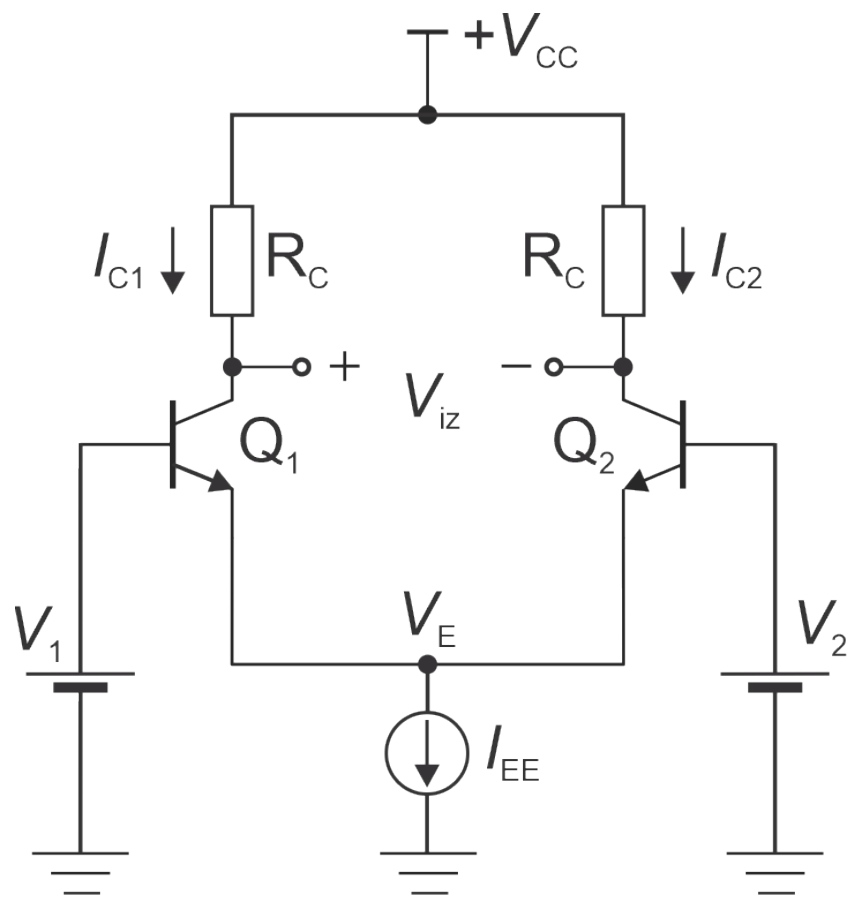


$$V_{iz+} = V_{CC} - I_{C1}R_C, \quad V_{iz-} = V_{CC} - I_{C2}R_C$$

$$V_{iz+} = V_{CC} - R_C \frac{I_{EE}}{1 + \exp\left(\frac{V_2 - V_1}{V_T}\right)}$$

$$V_{iz-} = V_{CC} - R_C \frac{I_{EE}}{1 + \exp\left(\frac{V_1 - V_2}{V_T}\right)}$$

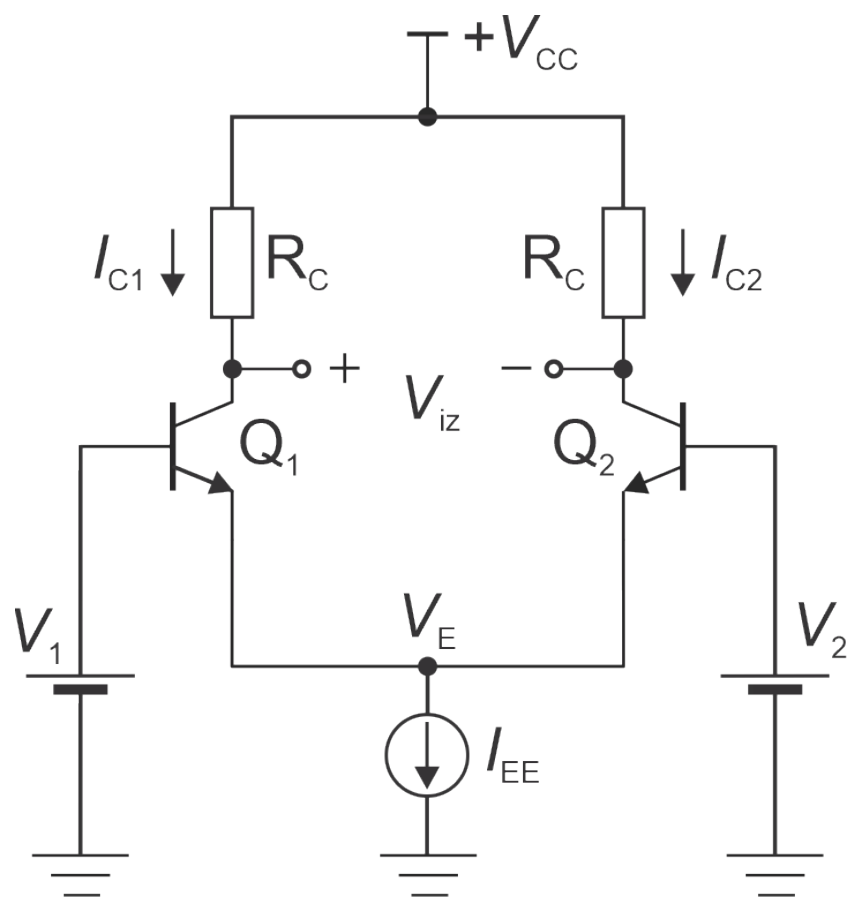
Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



$$V_{iz+} - V_{iz-} = R_C I_{EE} \left(\frac{1}{1 + \exp \frac{V_1 - V_2}{V_T}} - \frac{1}{1 + \exp \frac{V_2 - V_1}{V_T}} \right) \cdot \exp \frac{V_2 - V_1}{2V_T} \cdot \exp \frac{V_1 - V_2}{2V_T}$$

$$V_{iz+} - V_{iz-} = -R_C I_{EE} \left(\frac{\exp \frac{V_1 - V_2}{2V_T} - \exp \frac{V_2 - V_1}{2V_T}}{\exp \frac{V_1 - V_2}{2V_T} + \exp \frac{V_2 - V_1}{2V_T}} \right)$$

Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



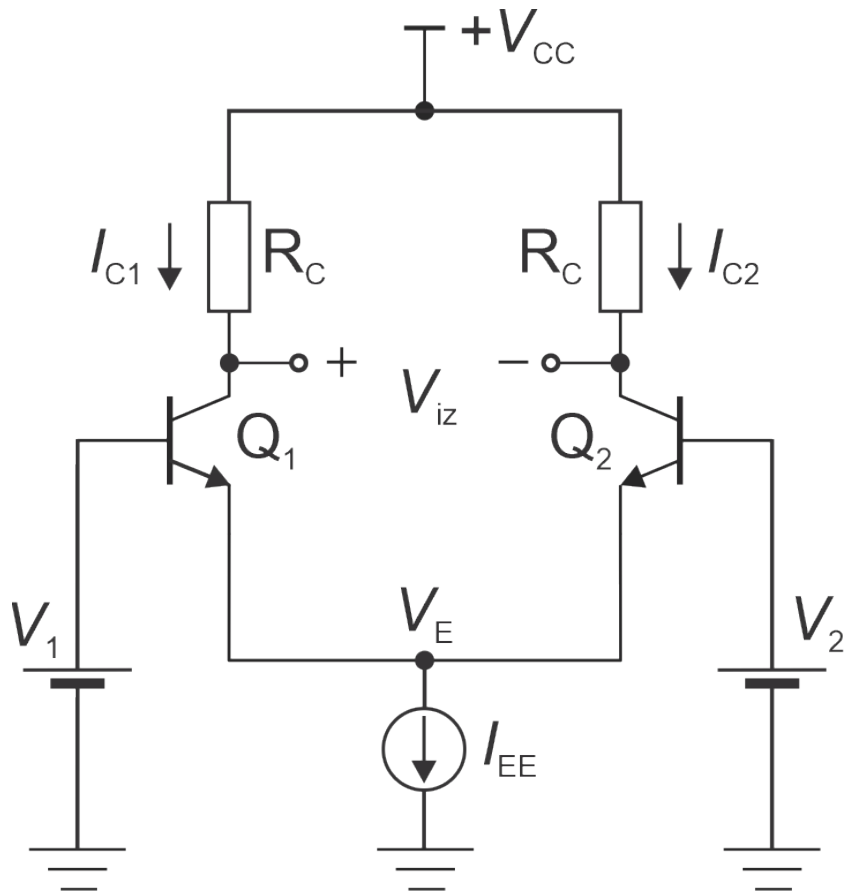
$$V_{iz+} - V_{iz-} = -R_C I_{EE} \left(\frac{\exp\left(\frac{V_1 - V_2}{2V_T}\right) - \exp\left(-\frac{V_1 - V_2}{2V_T}\right)}{\exp\left(\frac{V_1 - V_2}{2V_T}\right) + \exp\left(-\frac{V_1 - V_2}{2V_T}\right)} \right)$$

$$V_{iz+} - V_{iz-} = -R_C I_{EE} \tanh\left(\frac{V_1 - V_2}{2V_T}\right)$$

$$x \ll 1, \quad \tanh(x) \approx x$$

$$x > 1, \quad \tanh(x) \approx 1$$

Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

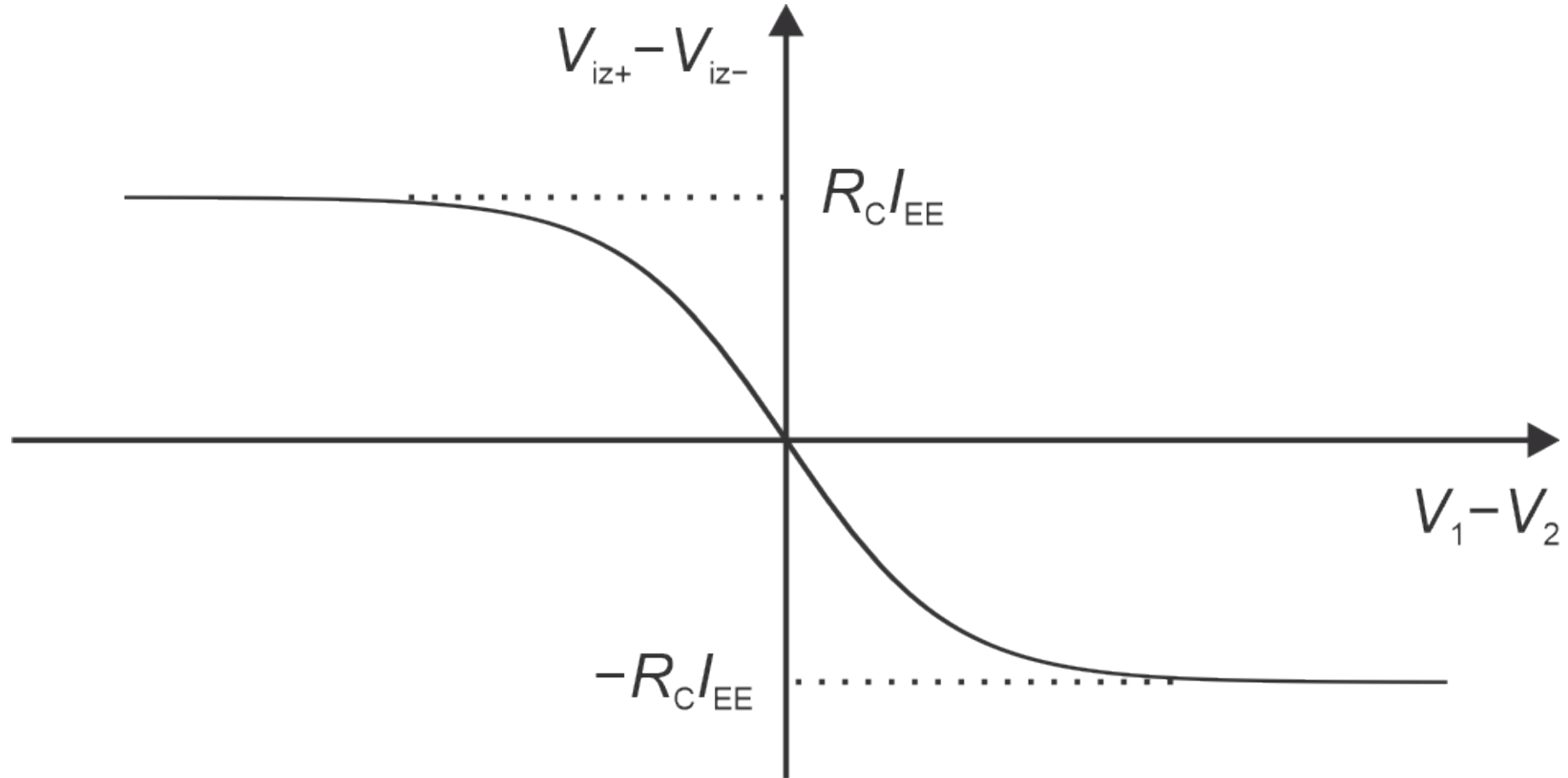


$$V_{iz+} - V_{iz-} = -R_C I_{EE} \tanh\left(\frac{V_1 - V_2}{2V_T}\right)$$

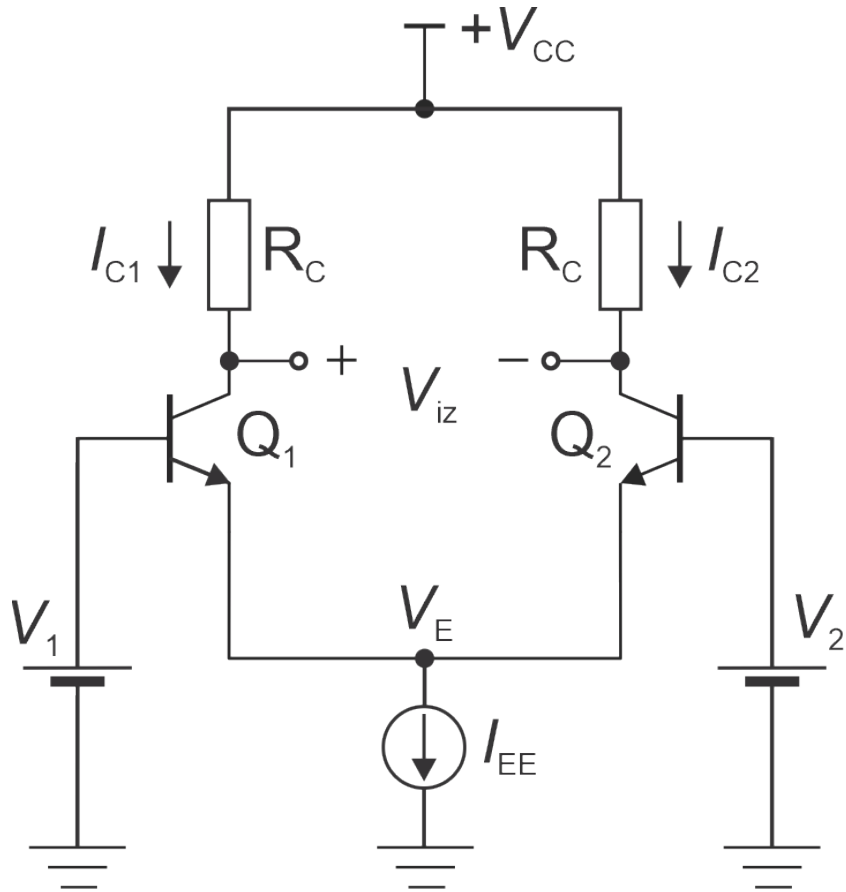
$$V_1 - V_2 \ll 2V_T, \quad V_{iz+} - V_{iz-} \approx -\frac{R_C I_{EE}}{2V_T} (V_1 - V_2)$$

$$V_1 - V_2 \gg 2V_T, \quad V_{iz+} - V_{iz-} \approx -R_C I_{EE}$$

Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

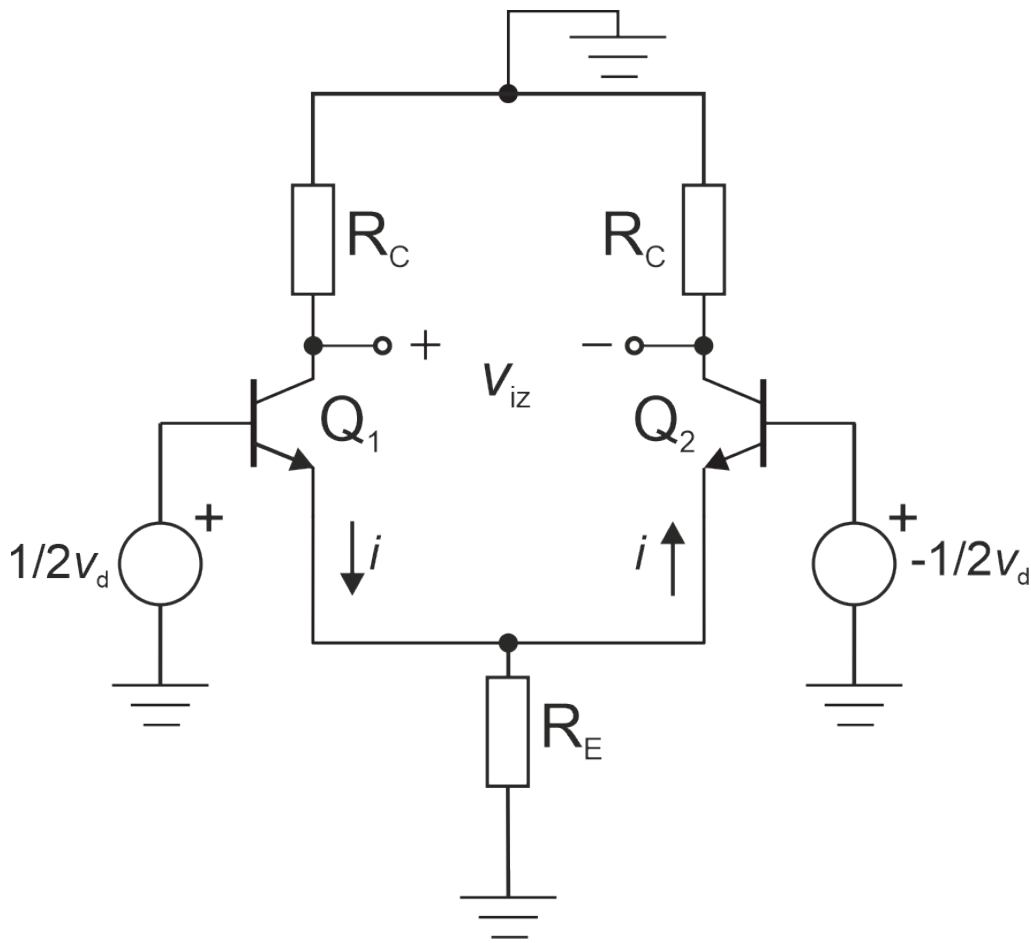


Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



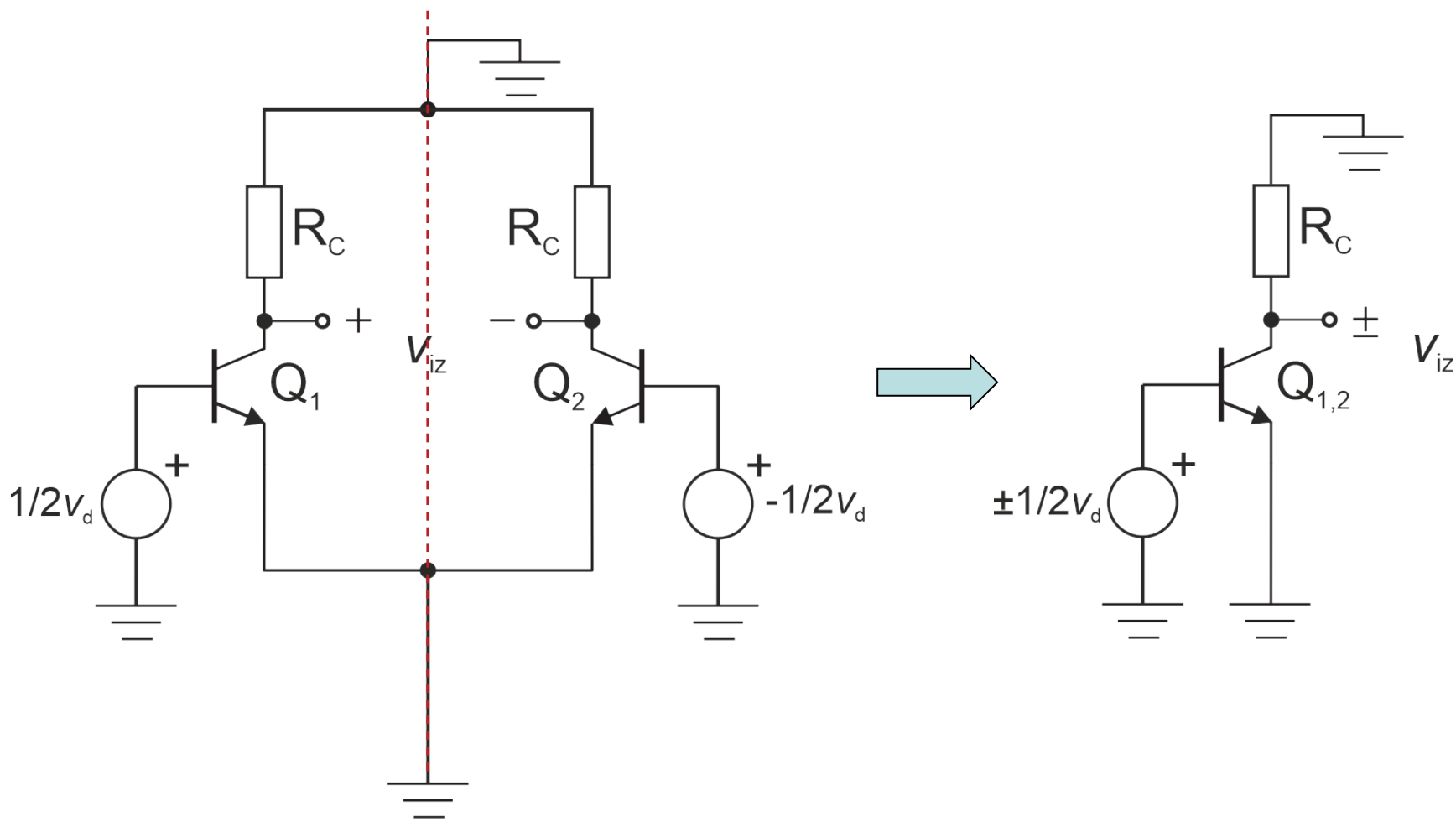
$$V_1 - V_2 \ll 2V_T, \quad A_d = -\frac{R_C I_{EE}}{2V_T}$$

Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje



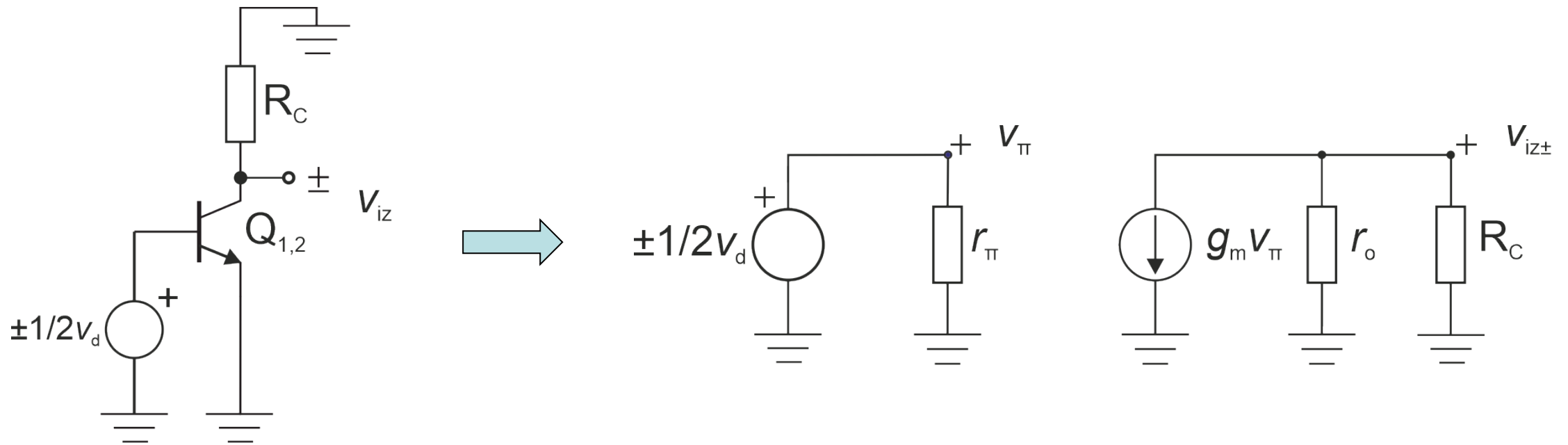
- Analiza za diferencijalni napon.
- Emitorske struje tranzistora Q_1 i Q_2 su jednake po amplitudi i ali su u **protivfazi**, njihov zbir je nula.
- Kroz otpornik R_E ne protiče struja, emitori Q_1 i Q_2 su na potencijalu mase.

Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje



- Kolo možemo nezavisno da analiziramo za Q_1 i Q_2 .

Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje



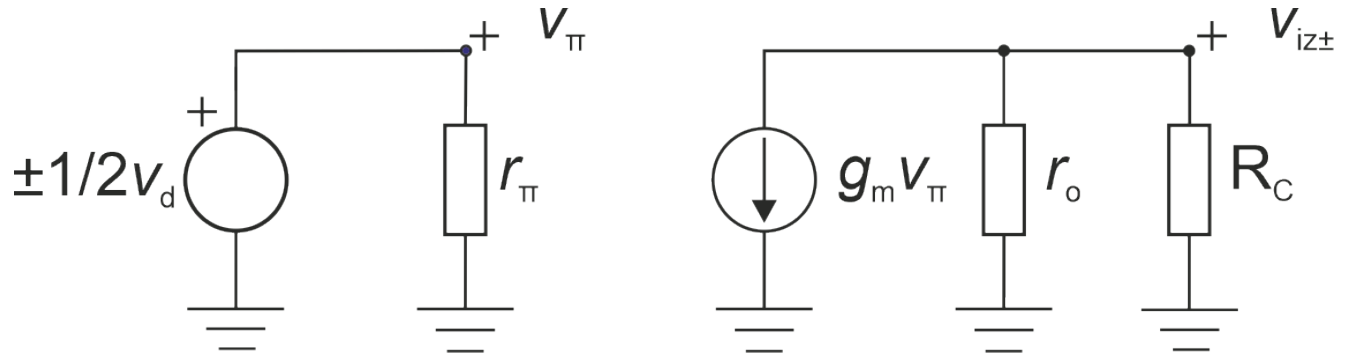
Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje

$$v_{iz+} = -\frac{1}{2} g_m (r_o \parallel R_C) v_d$$

$$v_{iz-} = \frac{1}{2} g_m (r_o \parallel R_C) v_d$$

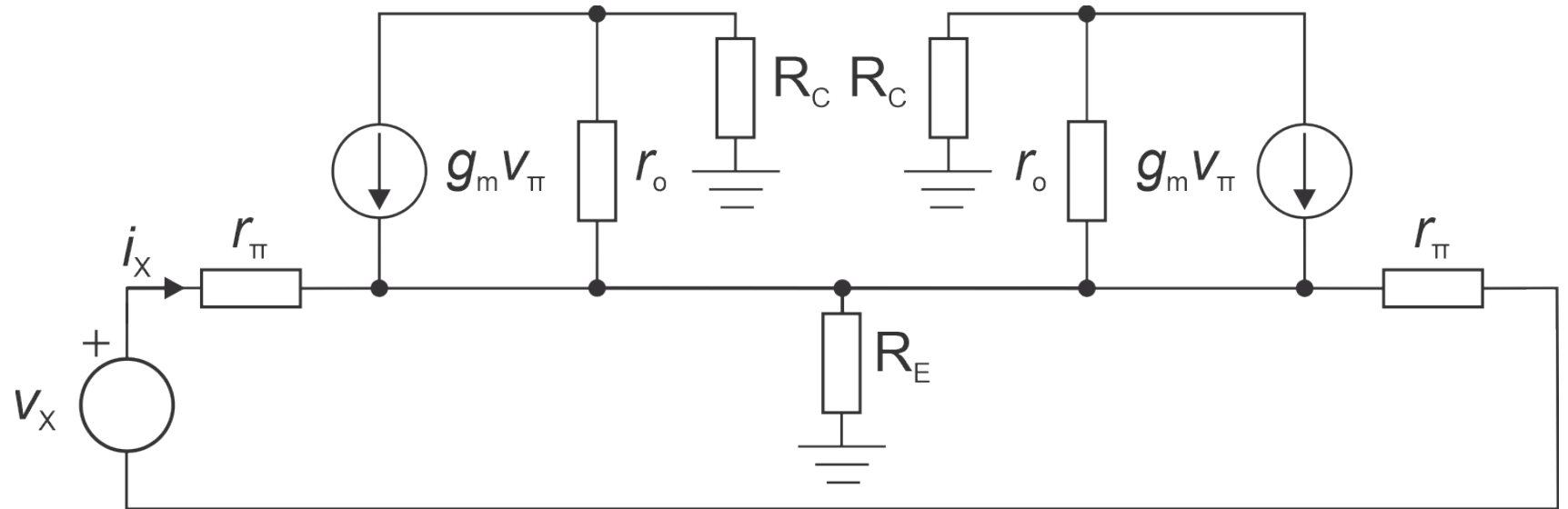
$$v_{iz} = -g_m (r_o \parallel R_C) v_d$$

$$A_d = -g_m (r_o \parallel R_C)$$



Diferencijalni pojačavač – impedanse

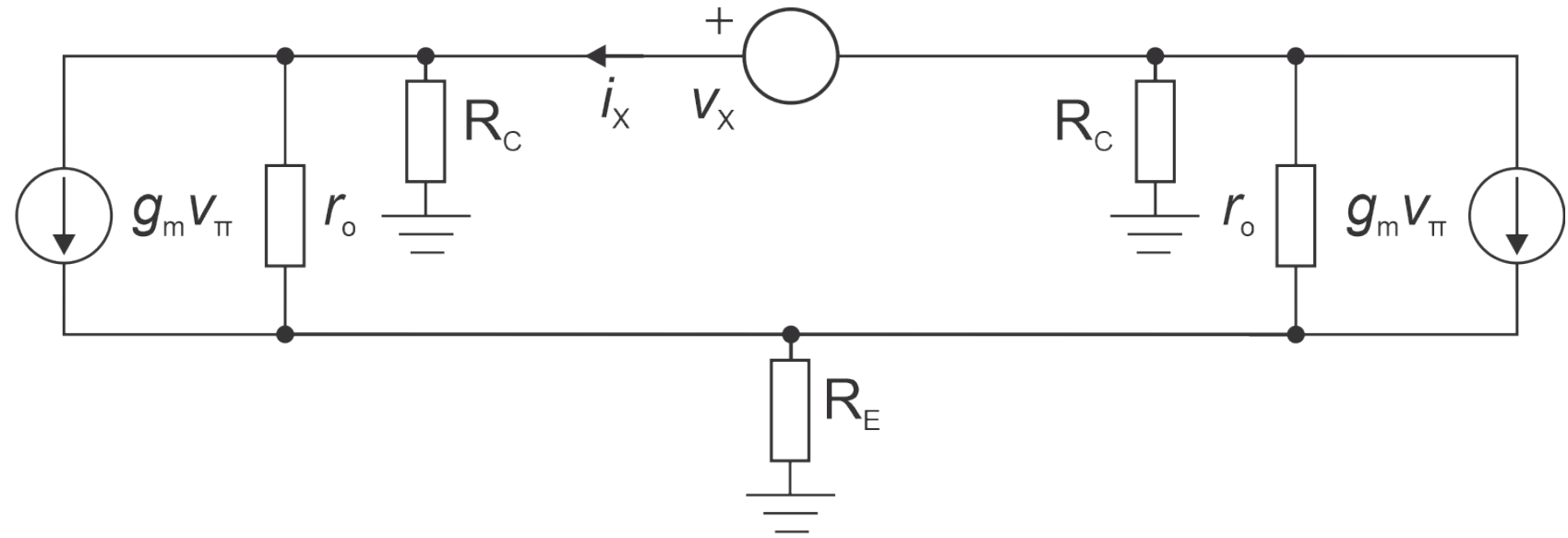
$$R_{ul} = 2r_{\pi}$$



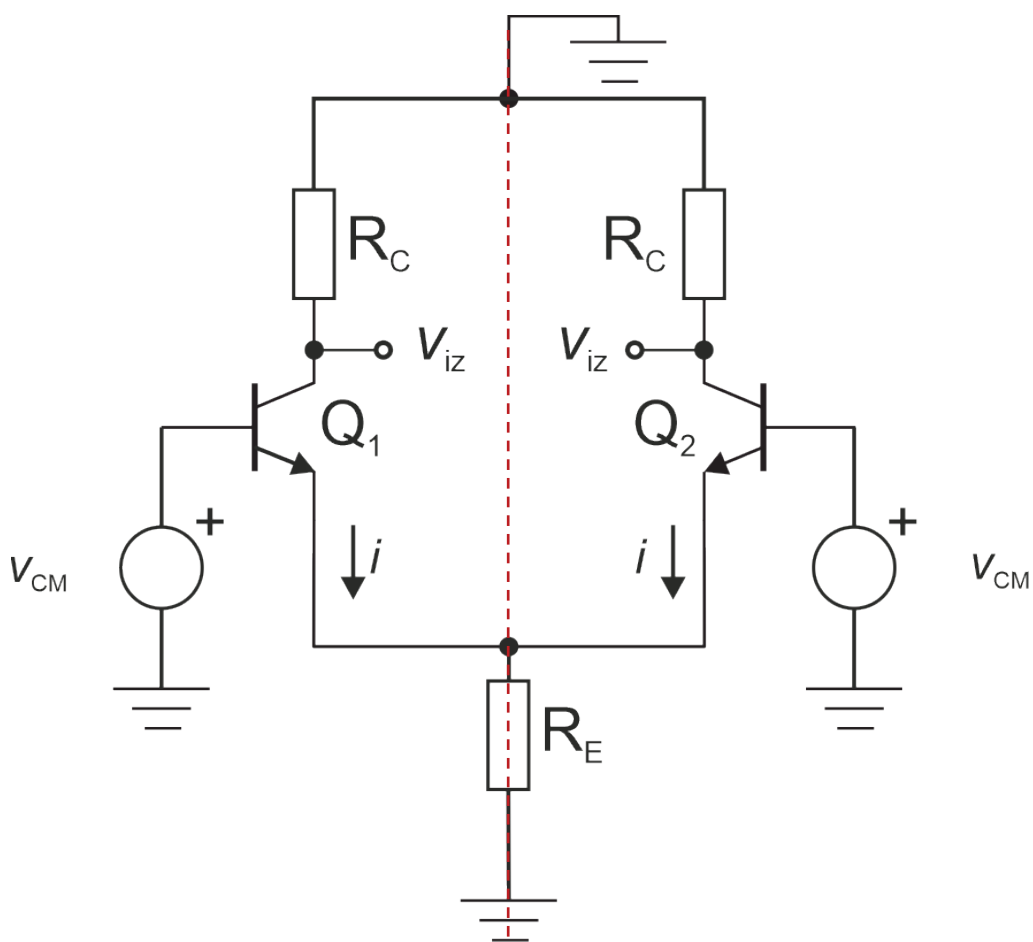
Diferencijalni pojačavač – impedanse

- $v_{\pi}=0, R_E \approx \infty$

$$R_{iz} = 2(r_o \parallel R_C)$$

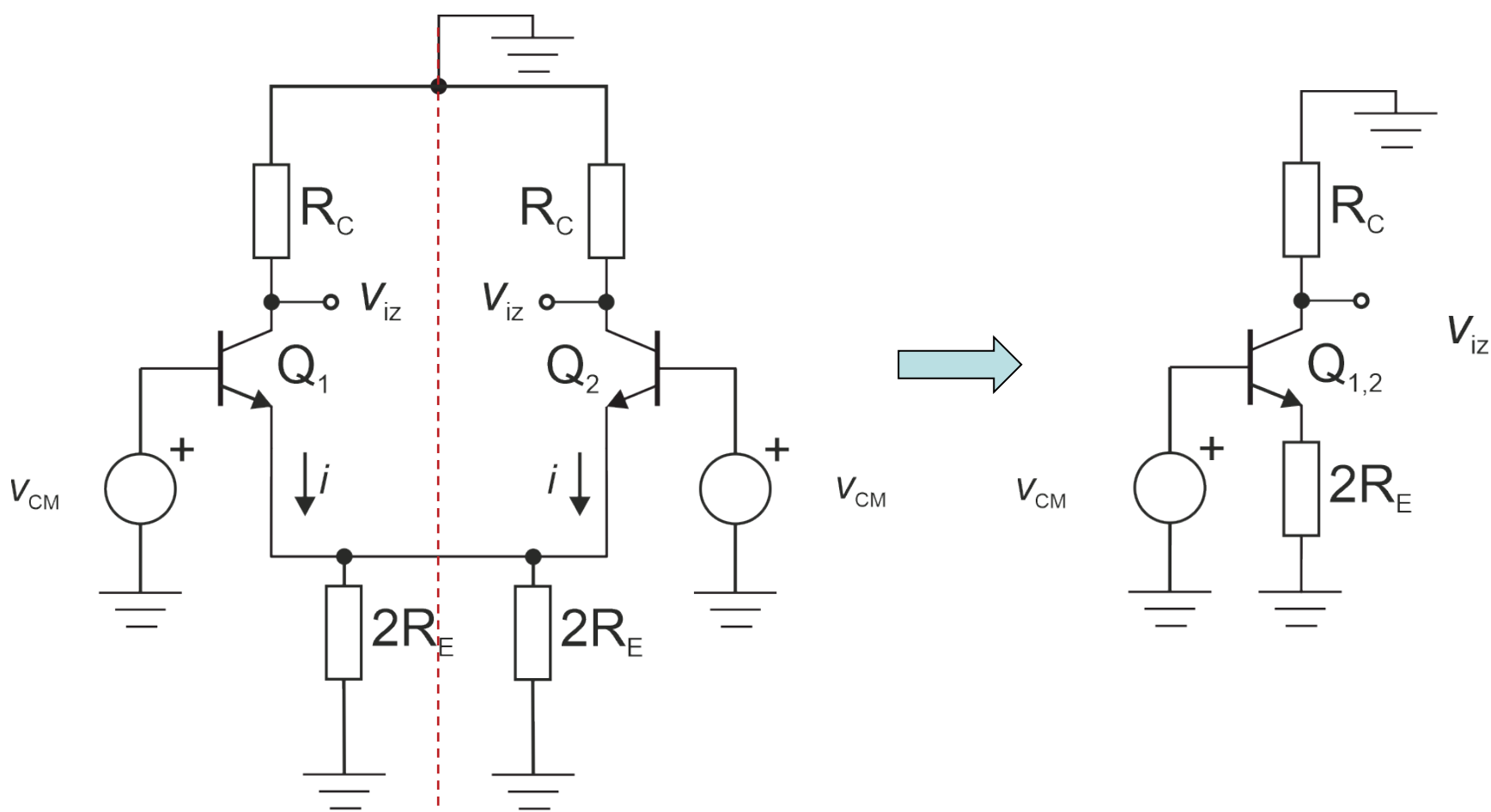


Diferencijalni pojačavač – srednja vrednost signala



- Analiza za napon srednje vrednosti signala
- Naizmenična komponenta napona srednje vrednosti signala v_{CM}
- Emitorske struje tranzistora Q_1 i Q_2 su jednake
- Kroz otpornik R_E protiče struja dvostruko veća od emitorske struje Q_1 i Q_2 .

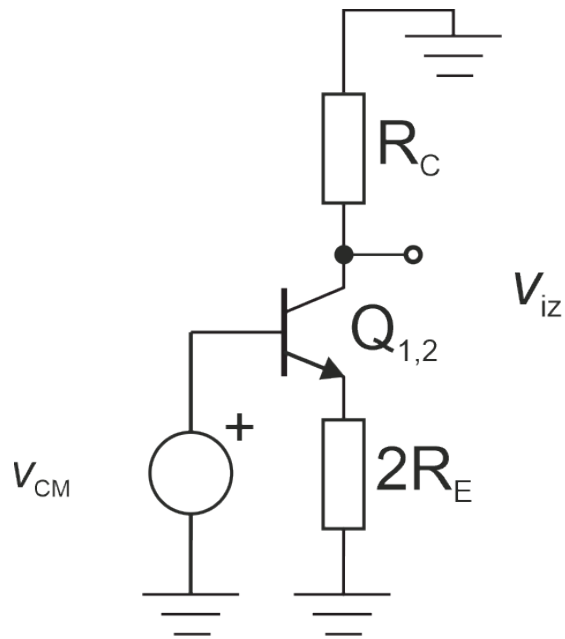
Diferencijalni pojačavač – srednja vrednost signala



- Kolo možemo nezavisno da analiziramo za Q_1 i Q_2 .

Diferencijalni pojačavač – srednja vrednost signala

- Pojačavač sa degenerisanim emitorom ($r_o = \infty$)

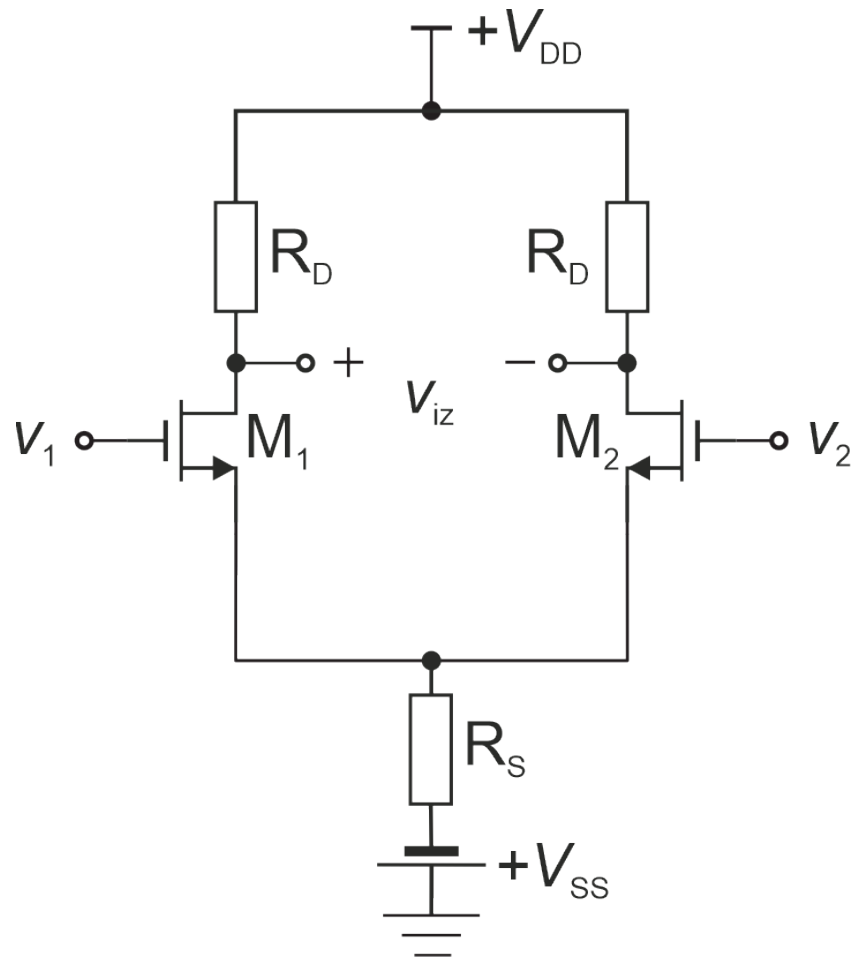


$$v_{iz} = \frac{-g_m R_C}{1 + 2g_m R_E} v_{CM}$$

$$A_{CM} = \frac{-g_m R_C}{1 + 2g_m R_E}$$

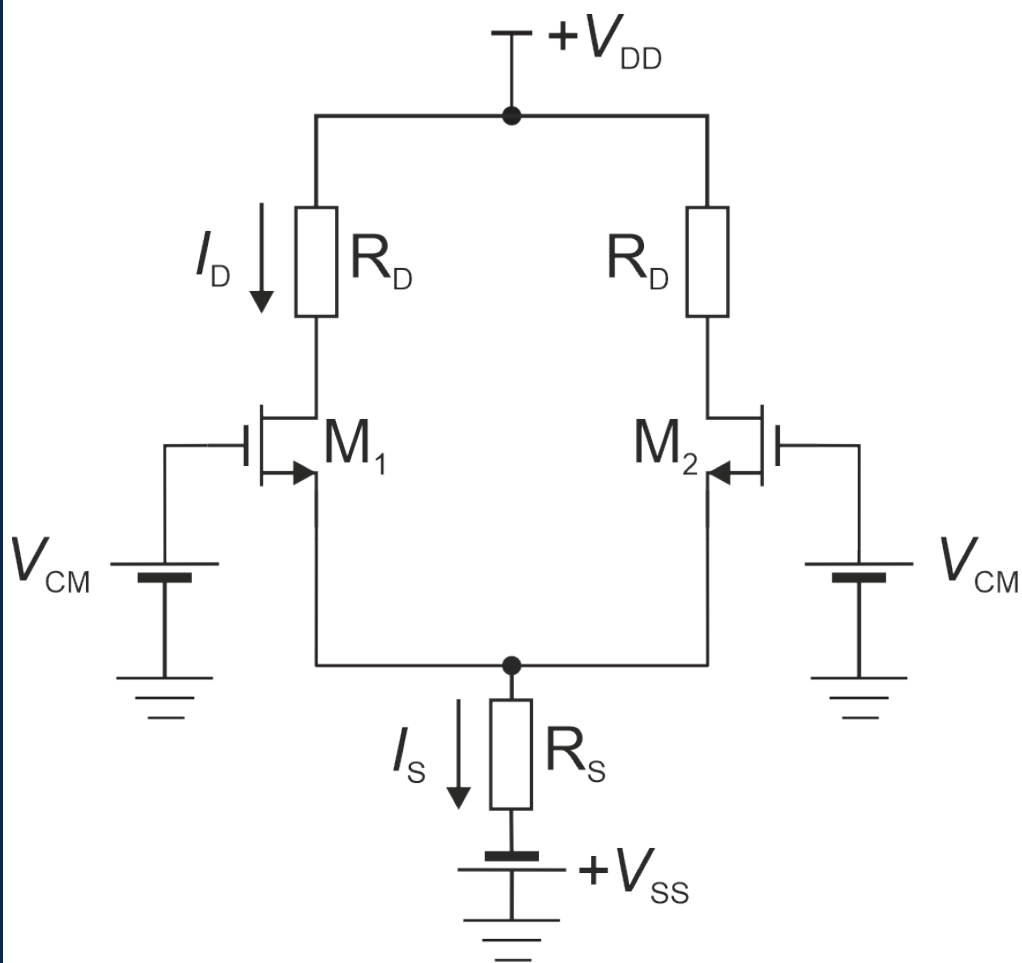
$$CMRR = \frac{A_d}{A_{CM}} = 1 + 2g_m R_E$$

Diferencijalni pojačavač sa MOS tranzistorima



- Analiza za jednosmerni režim
- Analiza za signale velikih amplituda.
- Analiza za signale malih amplituda – diferencijalni signal.
- Analiza za signale malih amplituda – srednja vrednost signala.

Diferencijalni pojačavač – jednosmerni režim



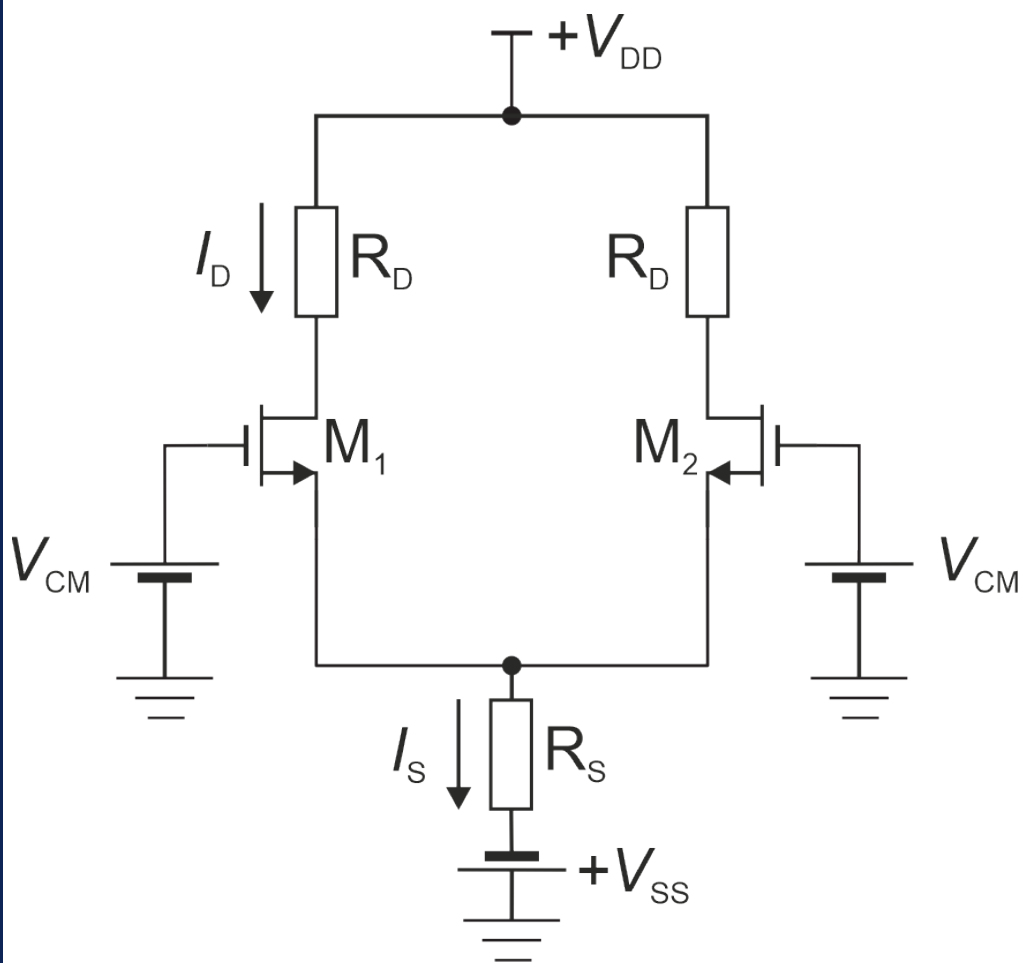
- Jednosmerni režim
- V_{CM} je jednosmerna komponenta napona srednje vrednosti

$$V_1 = V_2 = V_{CM}$$

$$V_{GS1} = V_{GS2} = V_{GS} = V_{CM} - I_S R_S + V_{SS}$$

$$I_{D1} = I_{D2} = I_D = I_{DS} \left(\frac{V_{GS}}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

Diferencijalni pojačavač – jednosmerna polarizacija



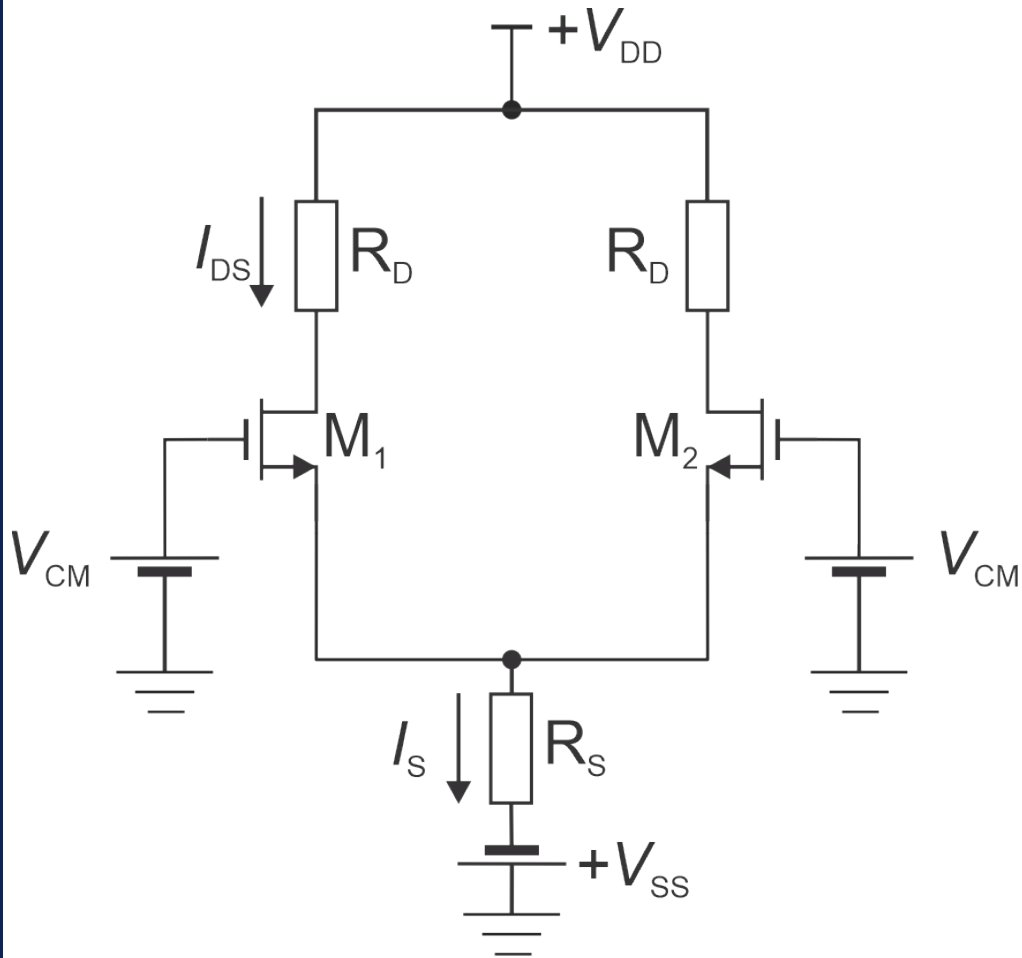
- Kolo je simetrično, M_1 i M_2 su identični, R_D ima istu otpornost u obe grane drejna

$$I_S = 2I_D$$

$$V_{GS} = V_{CM} - 2I_D R_S + V_{SS}$$

$$I_D = I_{DS} \left(\frac{V_{CM} - 2I_D R_S + V_{SS} - V_{TH}}{V_{TH}} \right)^2$$

Diferencijalni pojačavač – jednosmerna polarizacija

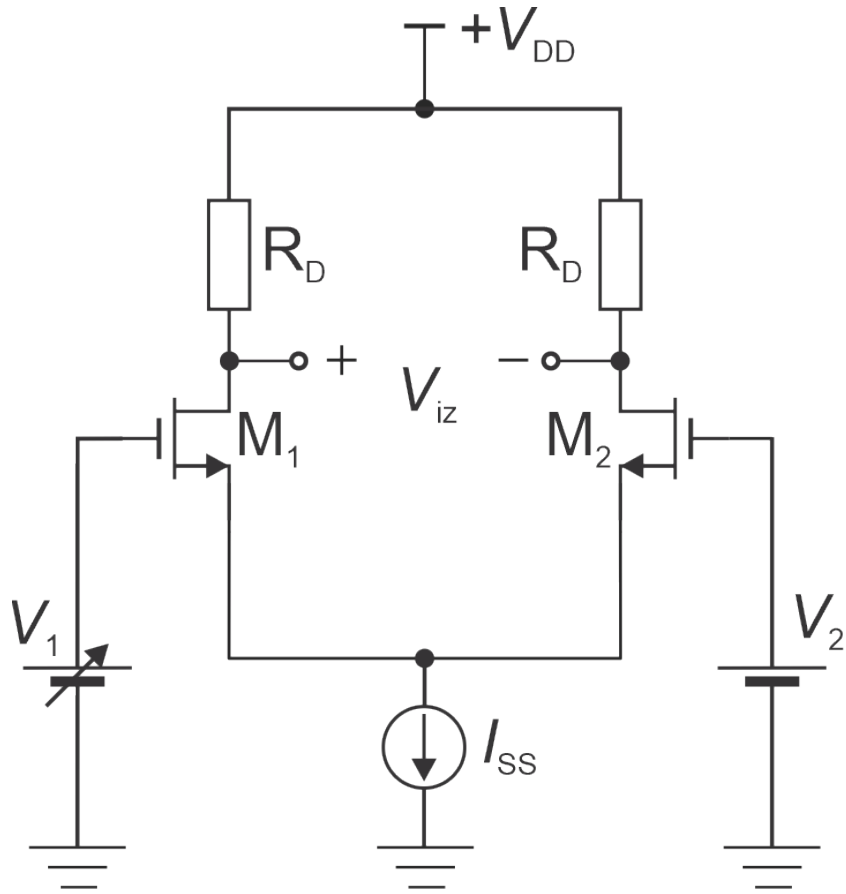


$$V_{D1} = V_{DD} - \frac{1}{2} I_S R_D$$

$$V_{D2} = V_{DD} - \frac{1}{2} I_S R_D$$

$$V_{D1} - V_{D2} = 0$$

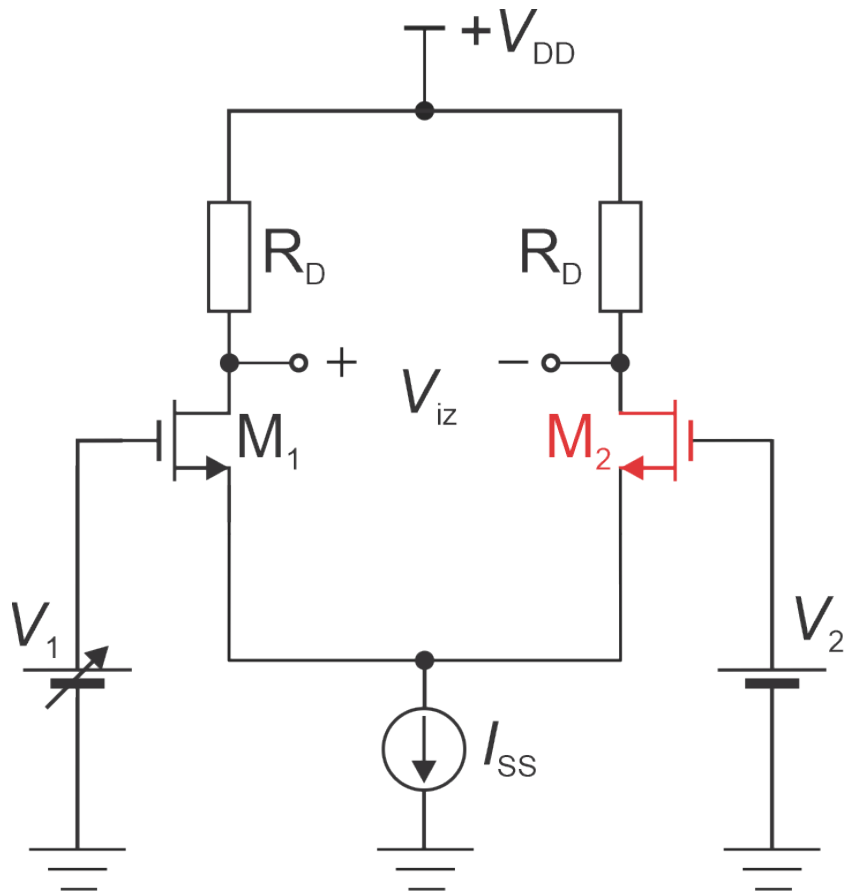
Diferencijalni pojačavač – signali velikih amplituda



- V_1 i V_2 su signali velikih amplituda, $V_1 \neq V_2$.
- Simetrija kola je narušena, struje kanala tranzistora nisu jednake.
- Neka je $V_1 > V_2$, V_2 je konstantno a V_1 se povećava, potencijal sorsa oba tranzistora je V_S , sledi:

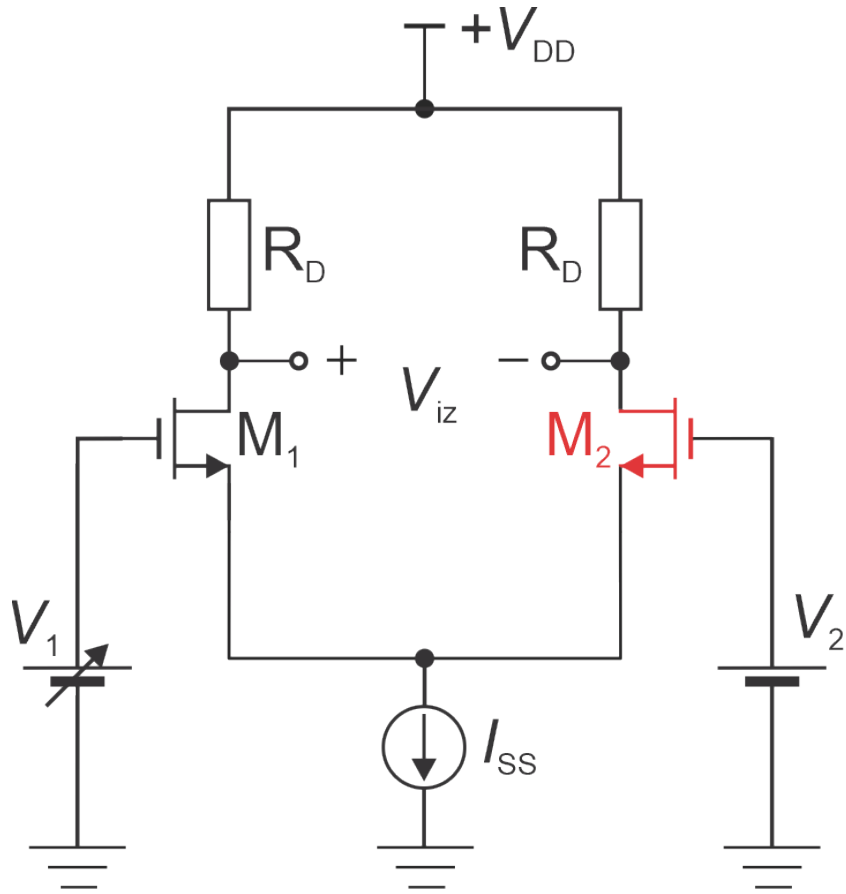
$$V_S = V_1 - V_{GS1}$$

Diferencijalni pojačavač – signali velikih amplituda



- Povećavanjem napona V_1 povećava se struja kanala M_1 i napon V_S .
- Kada se napon V_{GS2} smanji na vrednost V_{TH} , tranzistor M_2 , prestaje da vodi $I_{D2}=0$, $I_{D1}=I_{SS}$.

Diferencijalni pojačavač – signali velikih amplituda



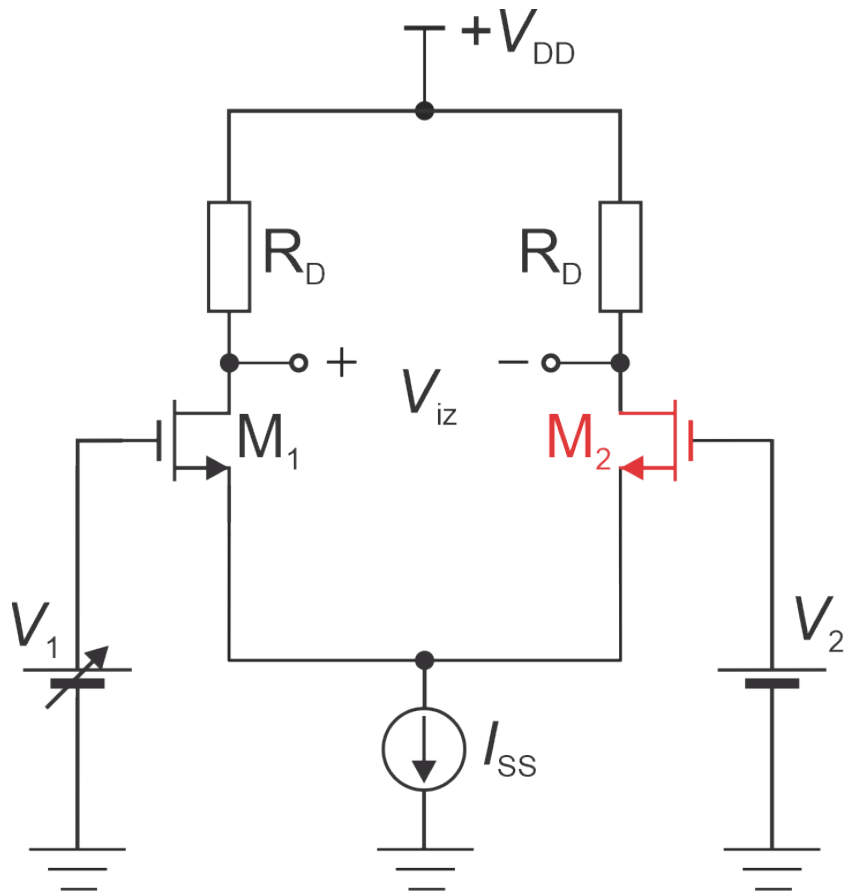
- U ovom slučaju imamo:

$$V_{GS1} = V_1 - V_S$$

$$V_{GS2} = V_2 - V_S = V_{TH}$$

$$V_2 - V_1 + V_{GS1} = V_{TH}$$

Diferencijalni pojačavač – signali velikih amplituda



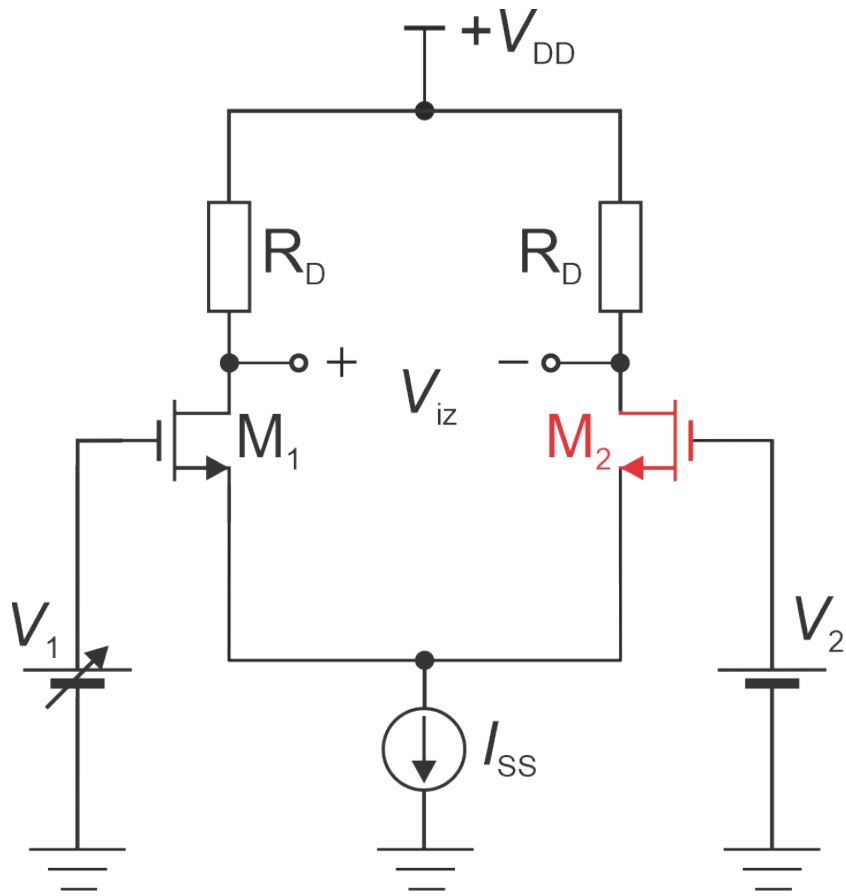
$$I_{D1} = I_{SS}, \quad I_{D2} = 0$$

$$I_{D1} = I_{DS} \left(\frac{V_{GS1}}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

$$V_{GS1} = V_{TH} \cdot \sqrt{\frac{I_{D1}}{I_{DS}}} + V_{TH} = V_{TH} \cdot \sqrt{\frac{I_{SS}}{I_{DS}}} + V_{TH}$$

$$V_1 - V_2 = V_{TH} \cdot \sqrt{\frac{I_{SS}}{I_{DS}}}$$

Diferencijalni pojačavač – signali velikih amplituda

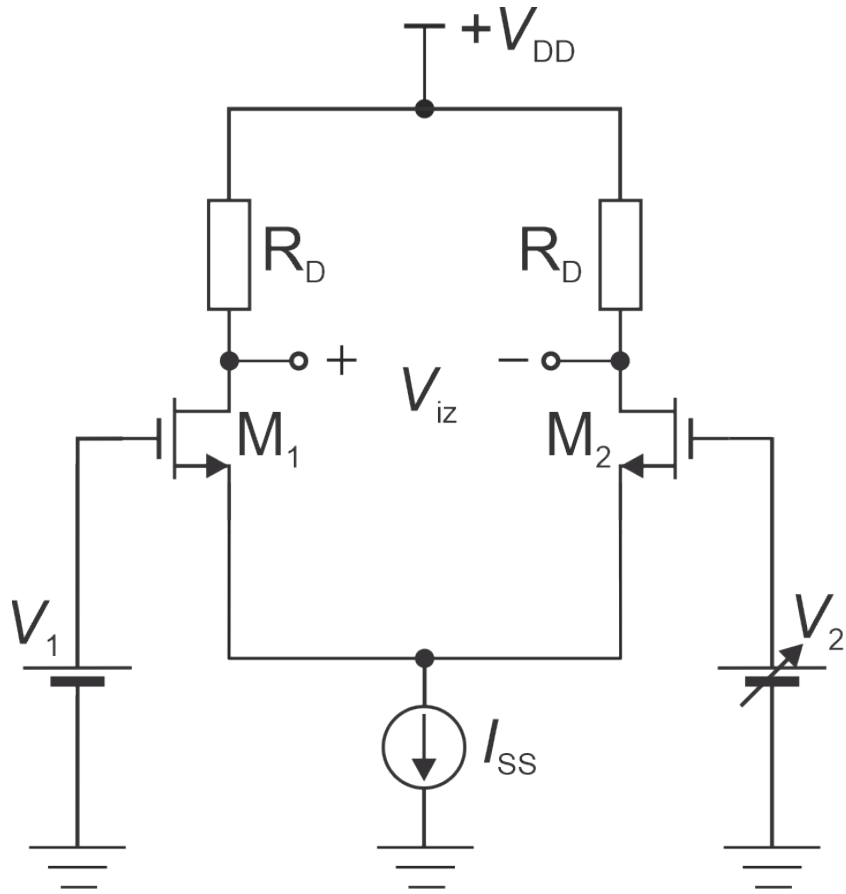


$$I_{DS1} = I_{SS}, \quad I_{DS2} = 0$$

$$V_{iz+} = V_{DD} - R_D I_{SS}$$

$$V_{iz-} = V_{DD}$$

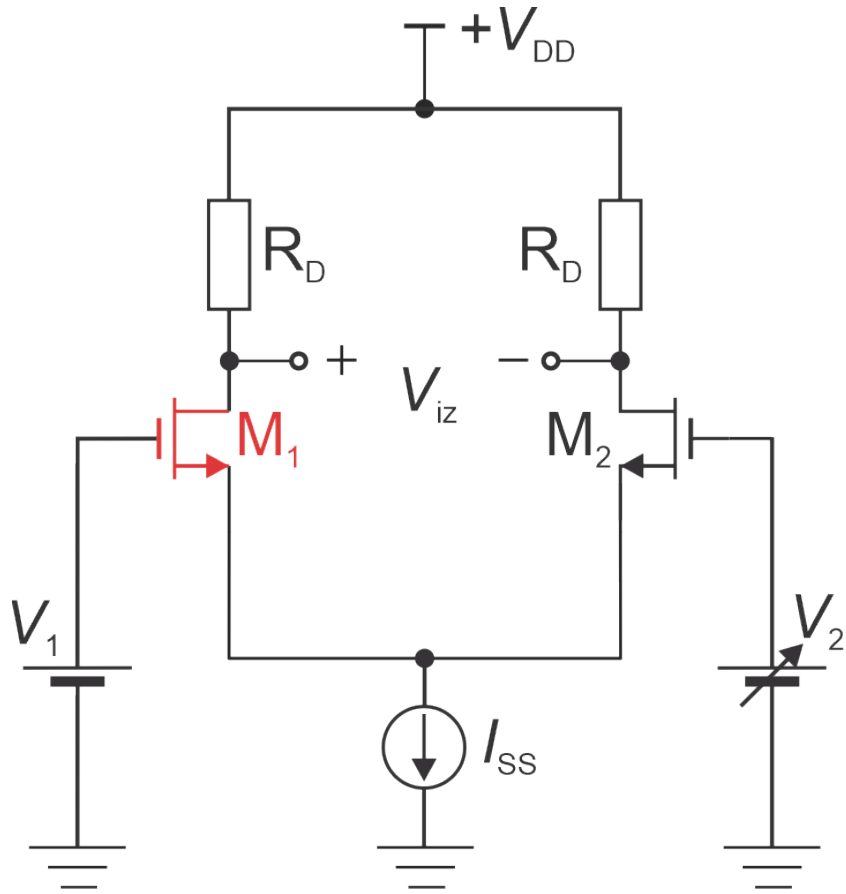
Diferencijalni pojačavač – signali velikih amplituda



- Neka je $V_1 < V_2$, V_1 je konstantno a V_2 se povećava, potencijal sorsa oba tranzistora je V_S , sledi:

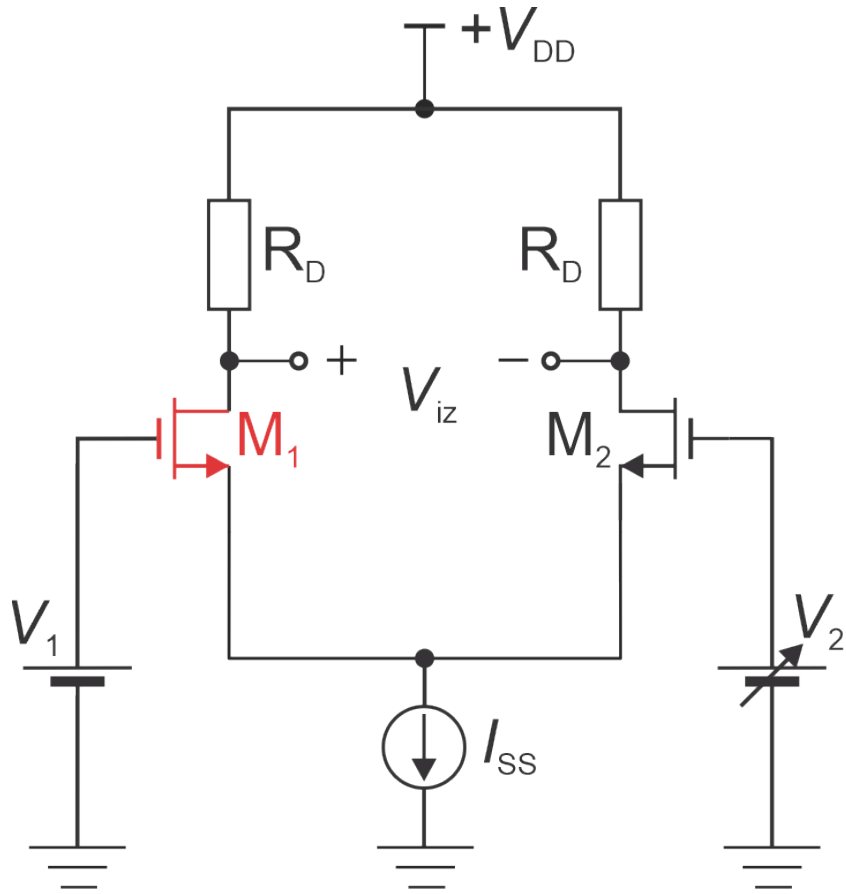
$$V_S = V_2 - V_{GS2}$$

Diferencijalni pojačavač – veliki signali



- Povećavanjem napona V_2 povećava se struja kanala M_2 i napon V_E .
- Kada se napon V_{GS1} smanji na vrednost V_{TH} , tranzistor M_1 , prestaje da vodi $I_{D1}=0$, $I_{D2}=I_{SS}$.

Diferencijalni pojačavač – veliki signali



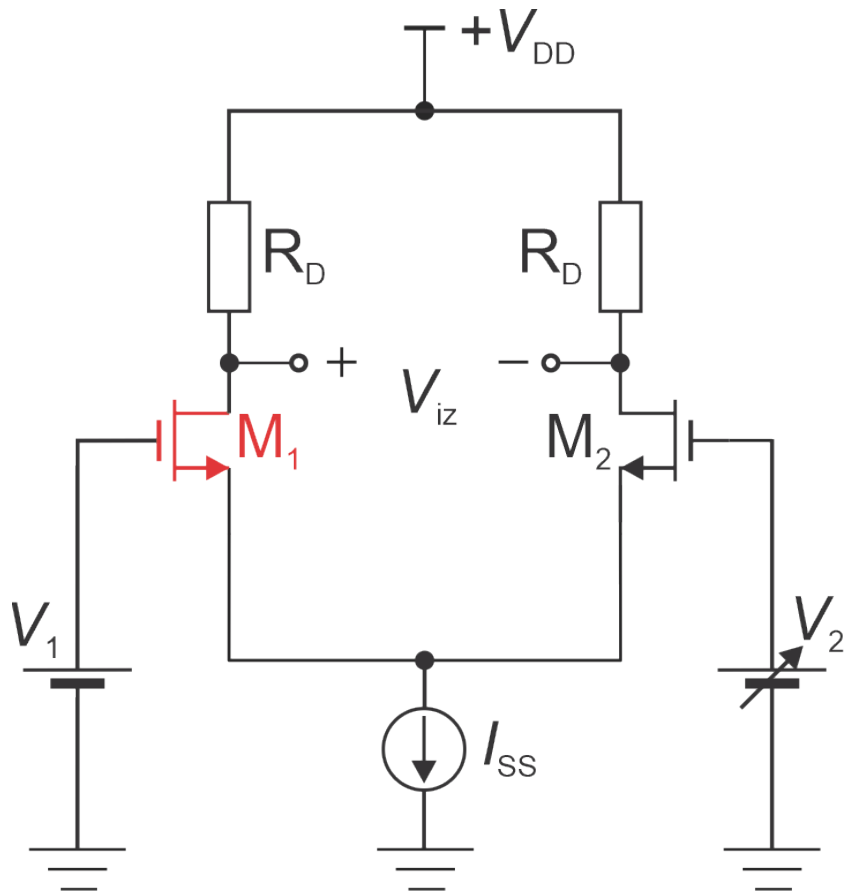
- U ovom slučaju imamo:

$$V_{GS1} = V_1 - V_S = V_{TH}$$

$$V_{GS2} = V_2 - V_S$$

$$V_1 - V_2 + V_{GS2} = V_{TH}$$

Diferencijalni pojačavač – veliki signali



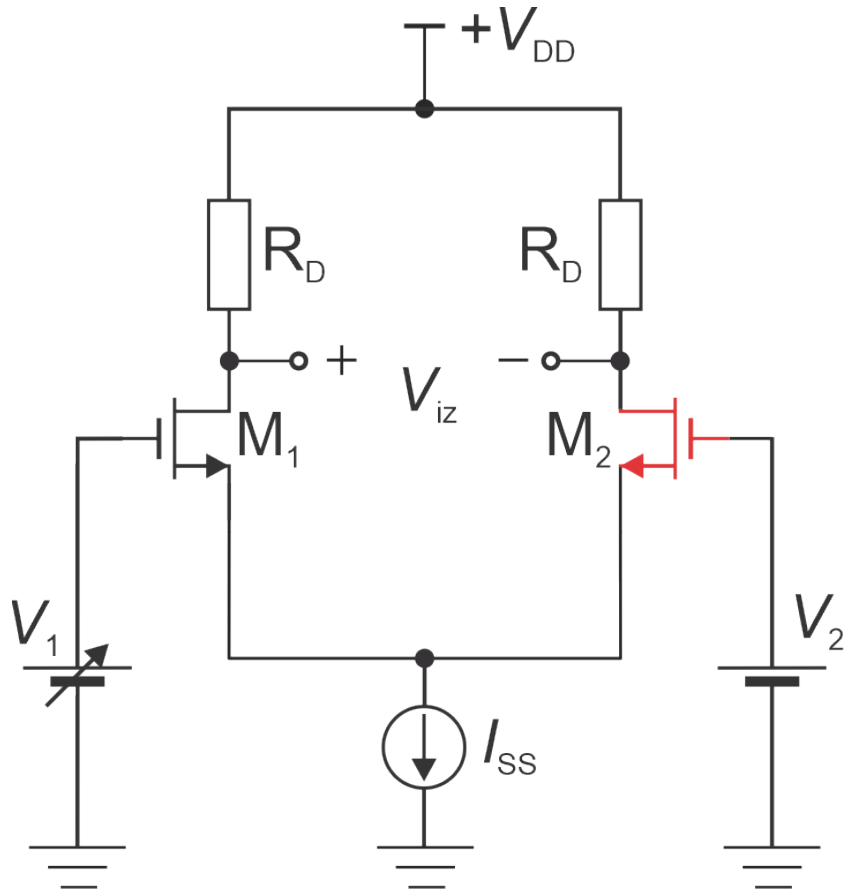
$$I_{D1} = 0, \quad I_{D2} = I_{SS}$$

$$I_{D2} = I_{DS} \left(\frac{V_{GS2}}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

$$V_{GS2} = V_{TH} \cdot \sqrt{\frac{I_{D2}}{I_{DS}}} + V_{TH} = V_{TH} \cdot \sqrt{\frac{I_{SS}}{I_{DS}}} + V_{TH}$$

$$V_1 - V_2 = -V_{TH} \cdot \sqrt{\frac{I_{SS}}{I_{DS}}}$$

Diferencijalni pojačavač – veliki signali

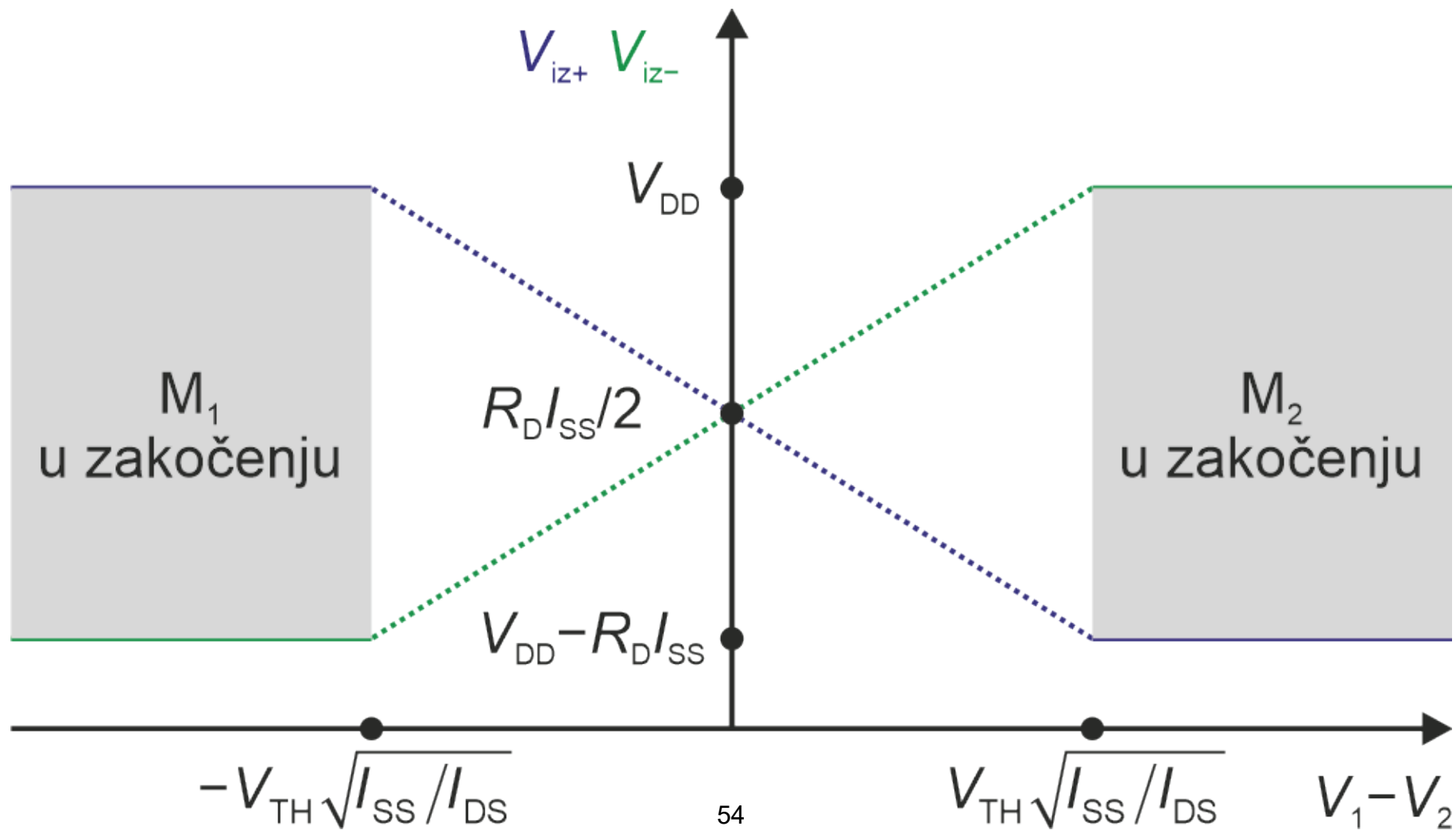


$$I_{D1} = 0, \quad I_{D2} = I_{SS}$$

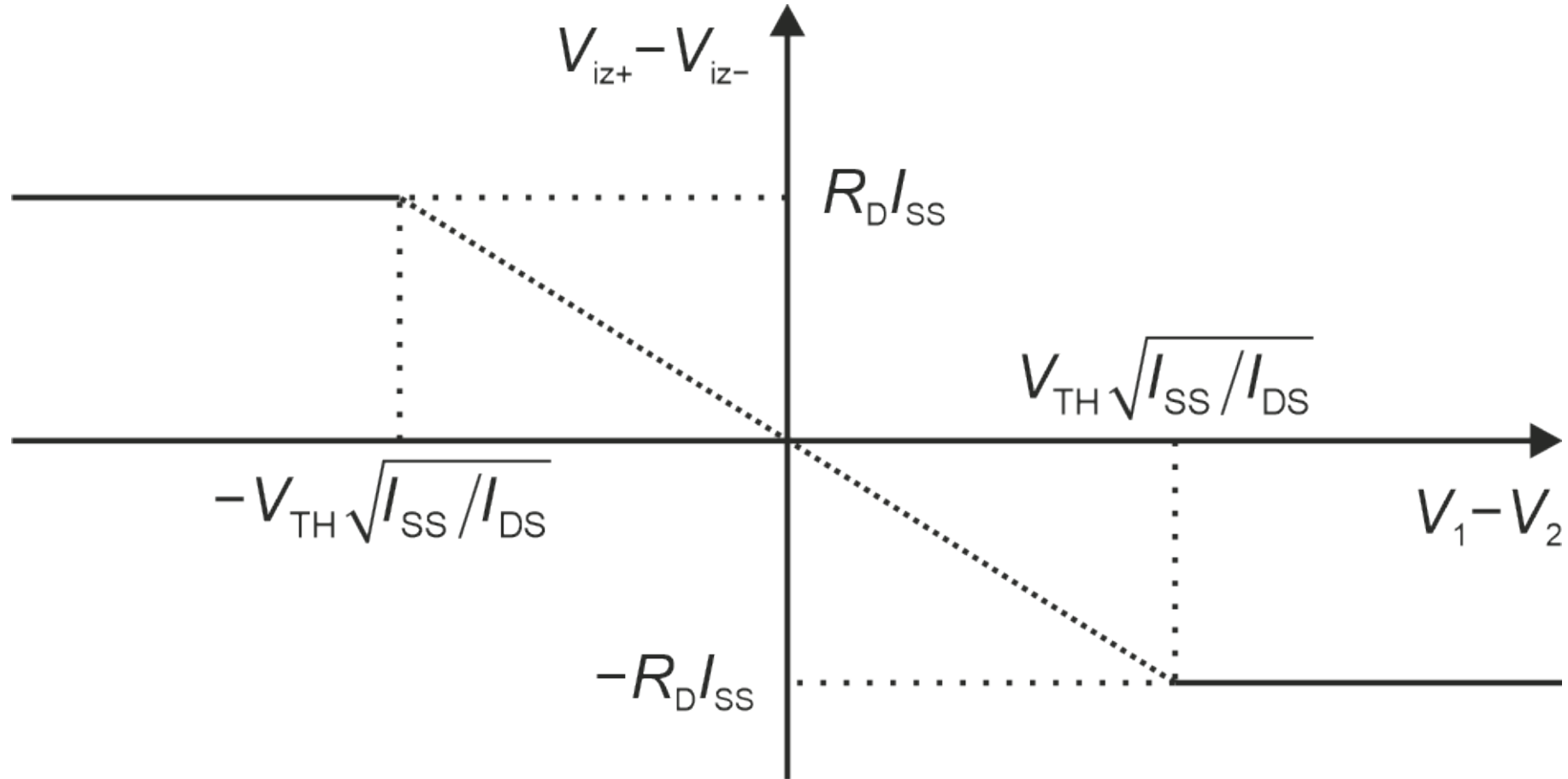
$$V_{iz+} = V_{DD}$$

$$V_{iz-} = V_{DD} - R_D I_{SS}$$

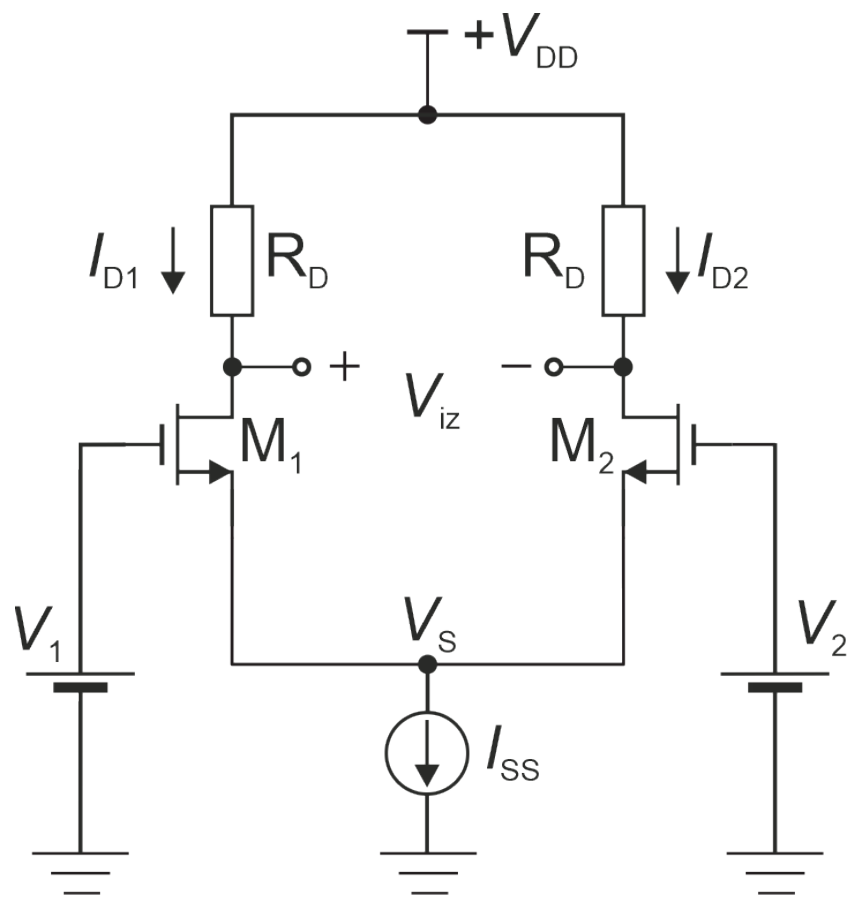
Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



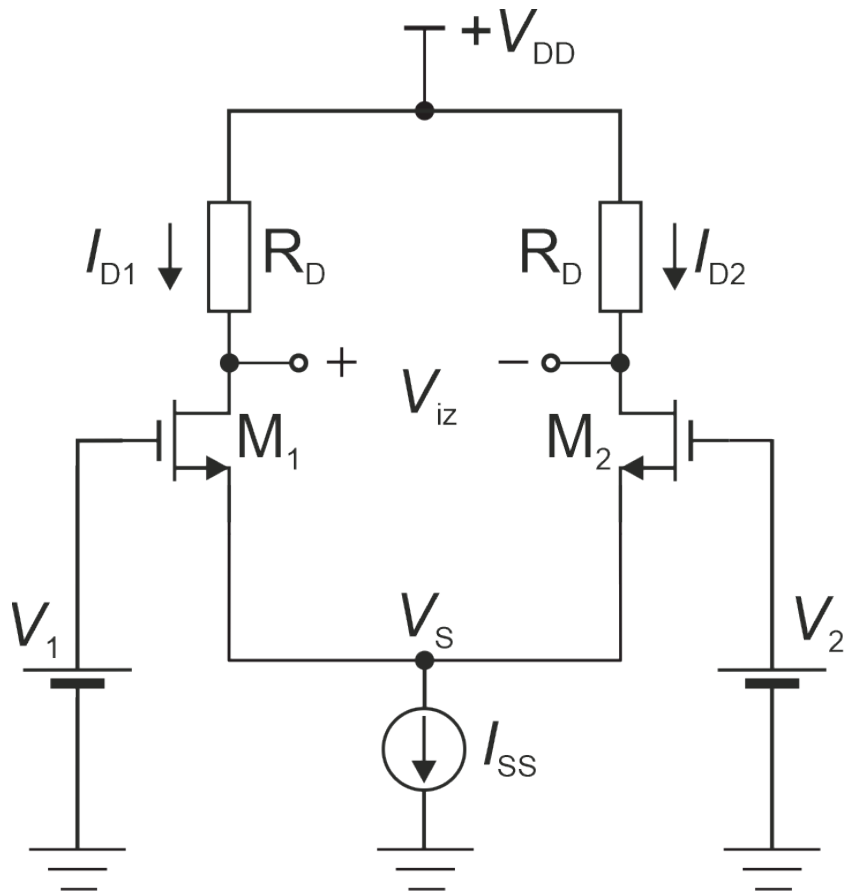
$$V_S = V_1 - V_{GS1} = V_2 - V_{GS2}$$

$$V_1 - V_2 = V_{GS1} - V_{GS2}$$

$$I_{D1} = I_{DS} \left(\frac{V_{GS1}}{V_{TH}} - 1 \right)^2, \quad I_{D2} = I_{DS} \left(\frac{V_{GS2}}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

$$V_{GS1} = V_{TH} \sqrt{\frac{I_{D1}}{I_{DS}}} + V_{TH}, \quad V_{GS2} = V_{TH} \sqrt{\frac{I_{D2}}{I_{DS}}} + V_{TH}$$

Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

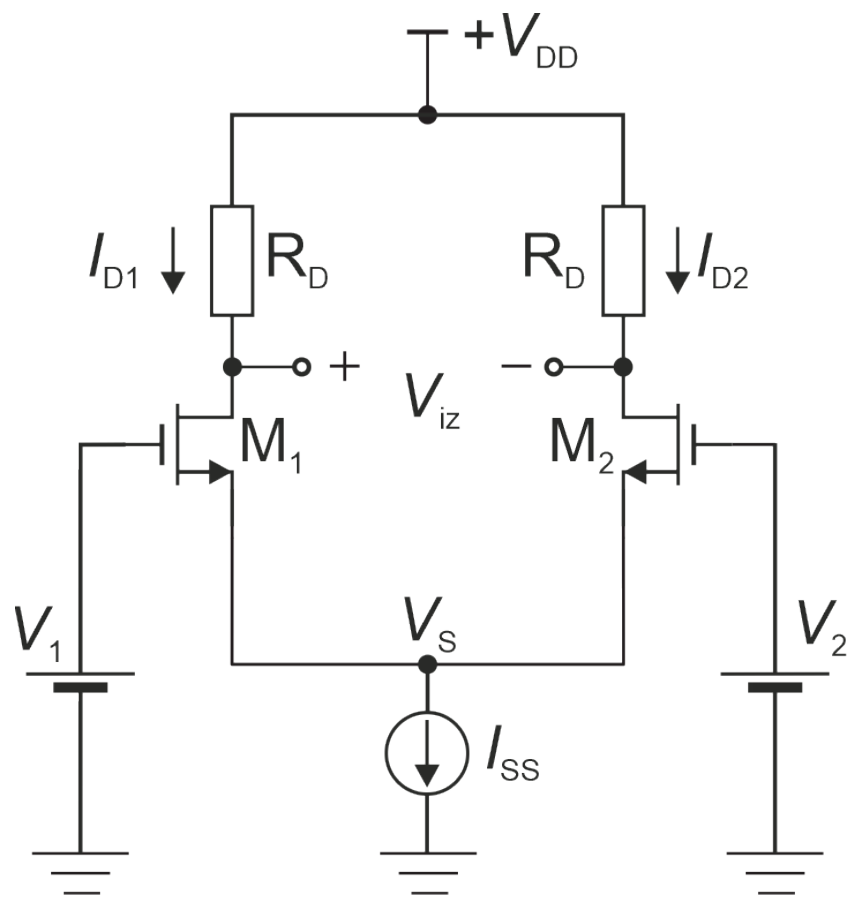


$$\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} = \sqrt{\frac{I_{D1}}{I_{DS}}} - \sqrt{\frac{I_{D2}}{I_{DS}}}$$

$$\left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}}\right)^2 \cdot I_{DS} = I_{D1} + I_{D2} - 2\sqrt{I_{D1} \cdot I_{D2}}$$

$$2\sqrt{I_{D1} \cdot I_{D2}} = I_{SS} - \left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}}\right)^2 \cdot I_{DS}$$

Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

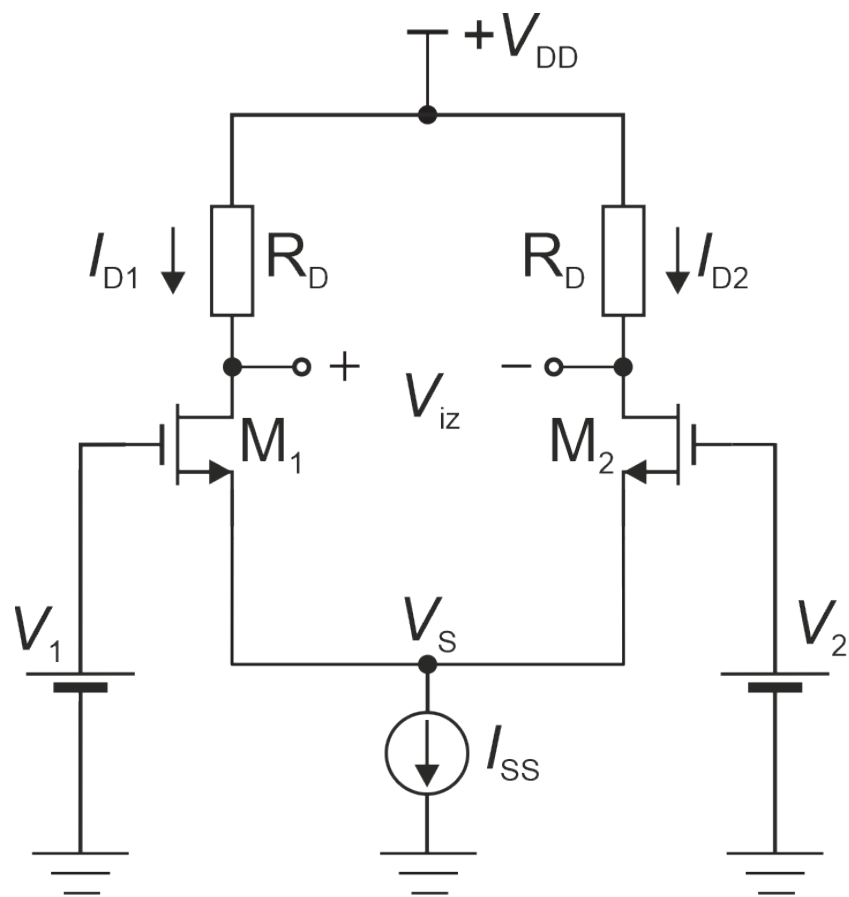


$$2\sqrt{I_{D1} \cdot I_{D2}} = I_{SS} - \left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DS}$$

$$I_{D1} \cdot I_{D2} = \frac{1}{4} \left(I_{SS} - \left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DS} \right)^2$$

$$I_{D1} \cdot (I_{SS} - I_{D1}) = \frac{1}{4} \left(I_{SS} - \left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DS} \right)^2$$

Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

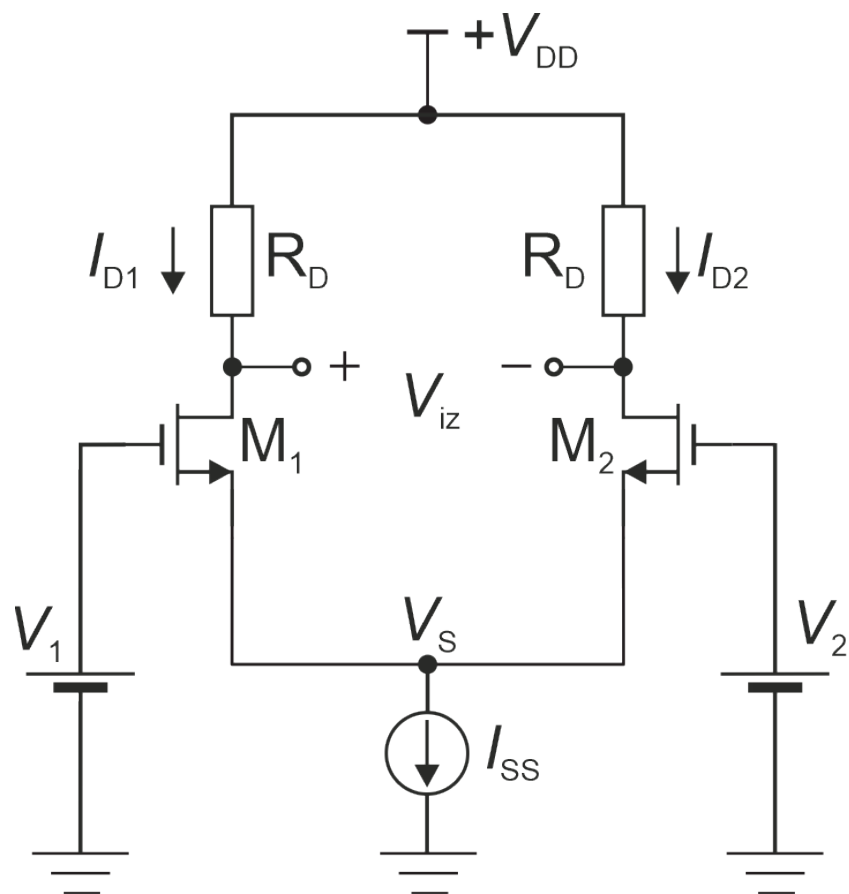


$$I_{D1}I_{SS} - I_{D1}^2 = \frac{1}{4} \left(I_{SS} - \left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DS} \right)^2$$

$$I_{D1} = \frac{I_{SS} \pm \sqrt{I_{SS}^2 - \left(I_{SS} - \left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DS} \right)^2}}{2}$$

$$I_{D1} = \frac{I_{SS}}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 I_{SS} I_{DS} - \frac{1}{4} \left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^4 \cdot I_{DS}^2}$$

Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

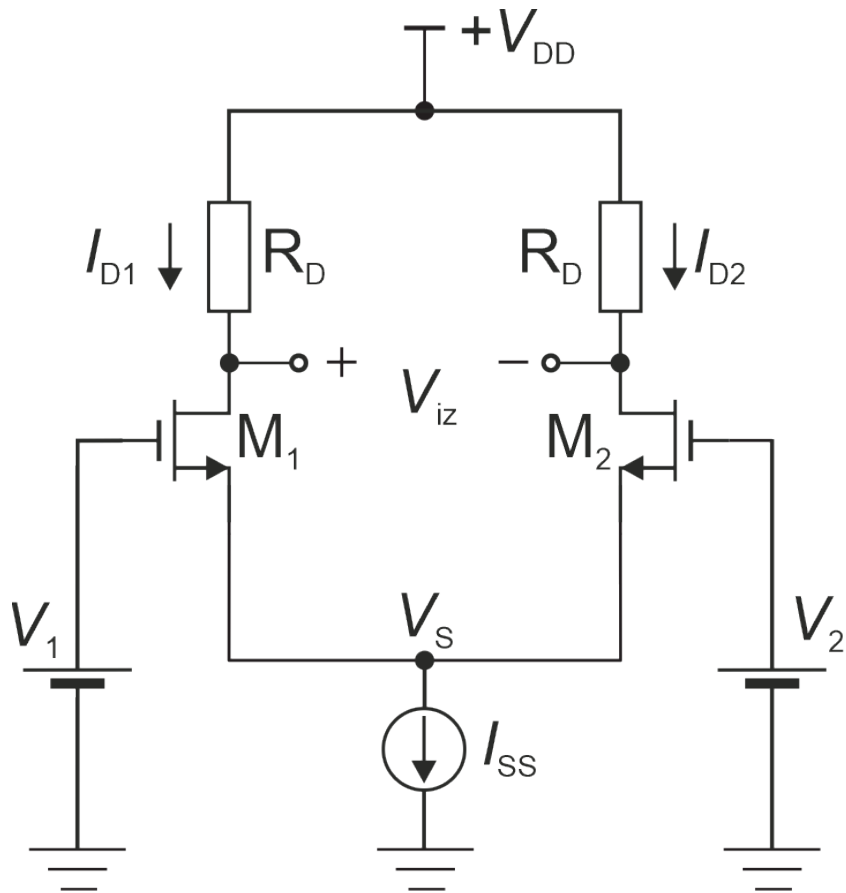


$$I_{D1} = \frac{I_{SS}}{2} + \left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right) \sqrt{\frac{1}{2} I_{SS} I_{DS} - \frac{1}{4} \left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DS}^2}$$

$$I_{D2} = \frac{I_{SS}}{2} + \left(\frac{V_2 - V_1}{V_{TH}} \right) \sqrt{\frac{1}{2} I_{SS} I_{DS} - \frac{1}{4} \left(\frac{V_2 - V_1}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DS}^2}$$

$$I_{D1} - I_{D2} = \left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right) \sqrt{2 I_{SS} I_{DS} - \left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DS}^2}$$

Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

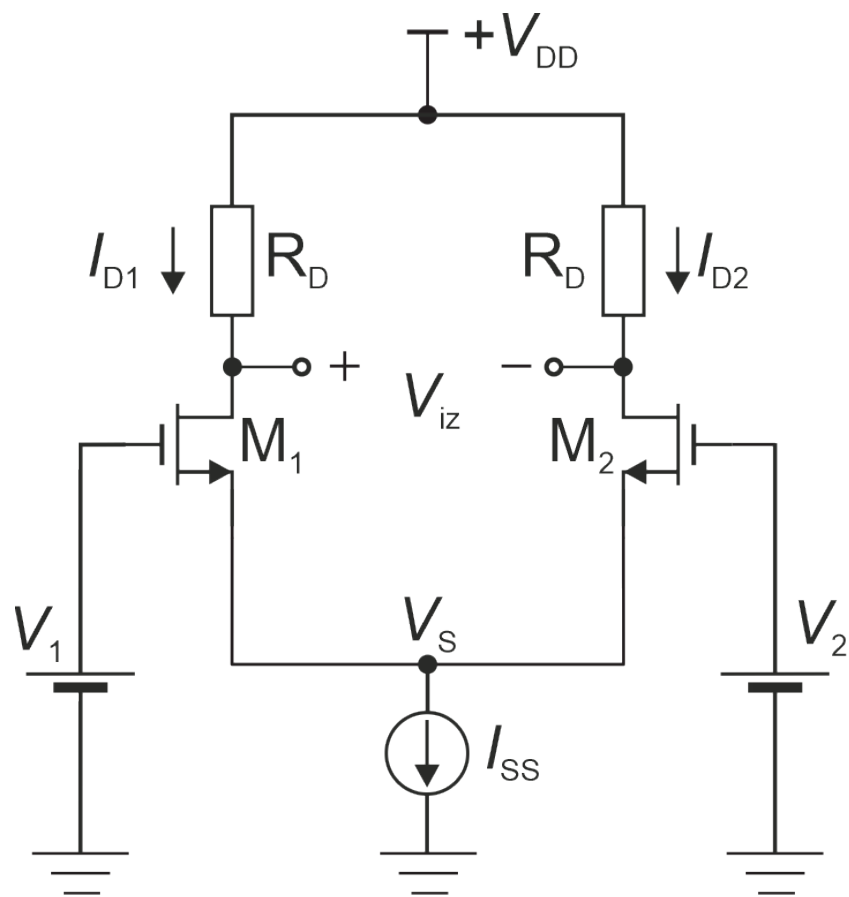


$$I_{D1} - I_{D2} = \frac{I_{DS}}{V_{TH}^2} (V_1 - V_2) \sqrt{\frac{2I_{SS}V_{TH}^2}{I_{DS}} - (V_1 - V_2)^2}$$

$$V_{iz+} - V_{iz-} = -R_D (I_{D1} - I_{D2})$$

$$V_{iz+} - V_{iz-} = -\frac{R_D I_{DS}}{V_{TH}^2} (V_1 - V_2) \sqrt{\frac{2I_{SS}V_{TH}^2}{I_{DS}} - (V_1 - V_2)^2}$$

Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

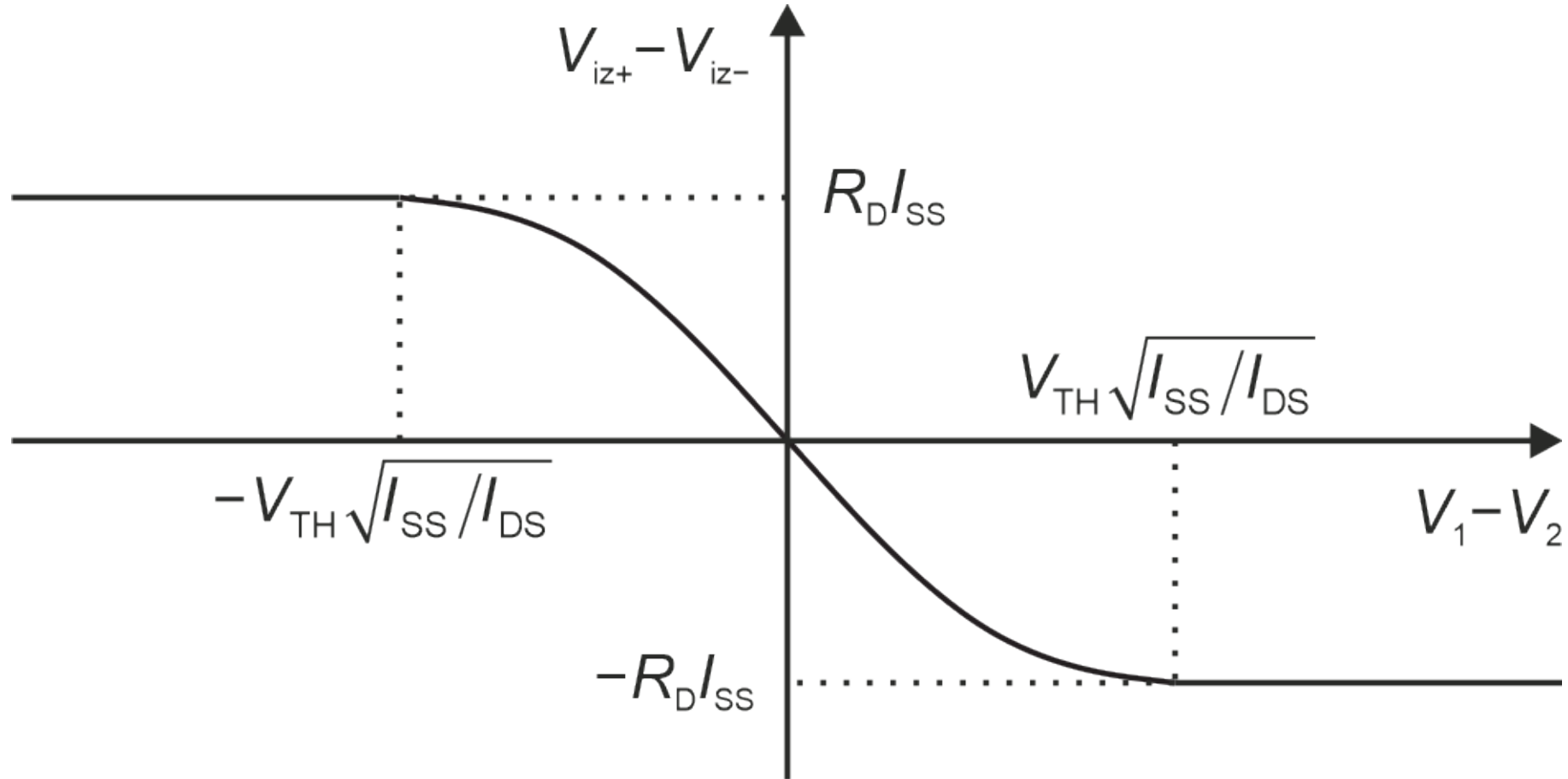


- Za $V_1 - V_2 \ll V_{TH}$, možemo da zanemarimo kvadratni član ispod korena:

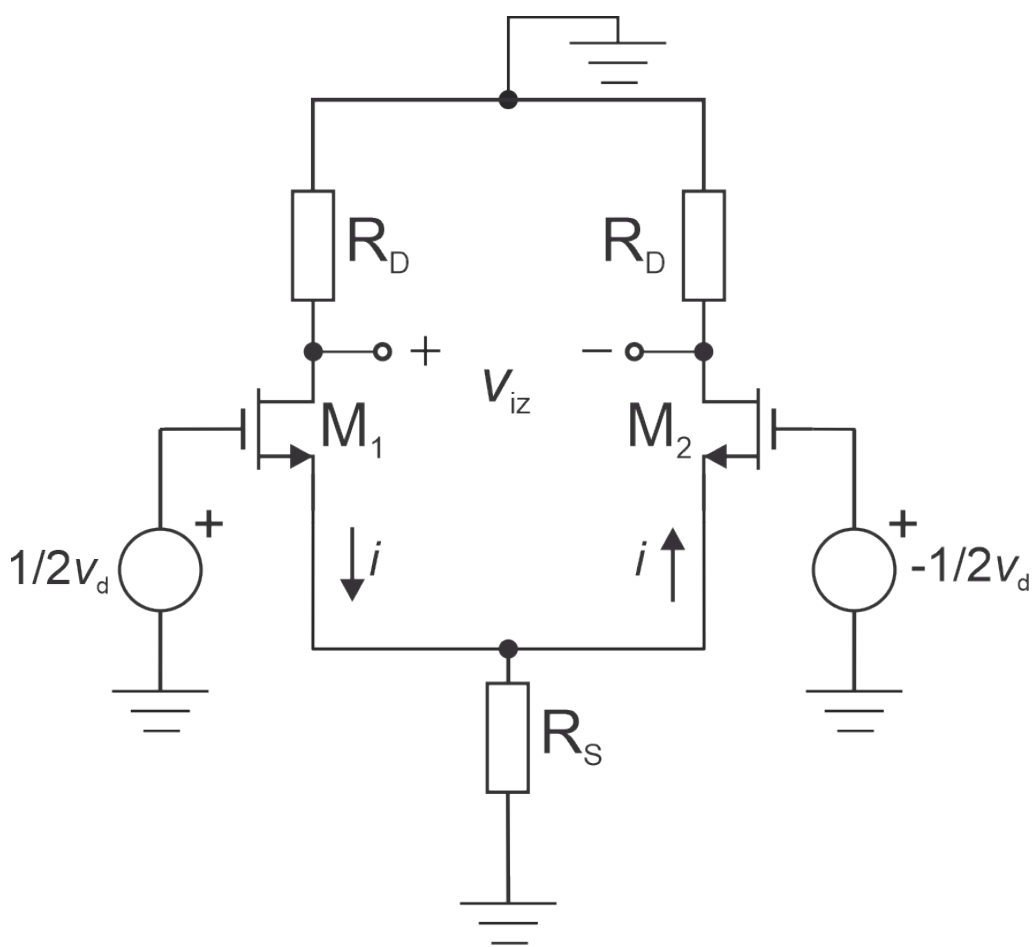
$$V_{iz+} - V_{iz-} = -\frac{2R_D \sqrt{I_{SS} I_{DS}}}{V_{TH}} (V_1 - V_2)$$

$$A_d = -\frac{2R_D \sqrt{I_{SS} I_{DSS}}}{V_{TH}}$$

Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

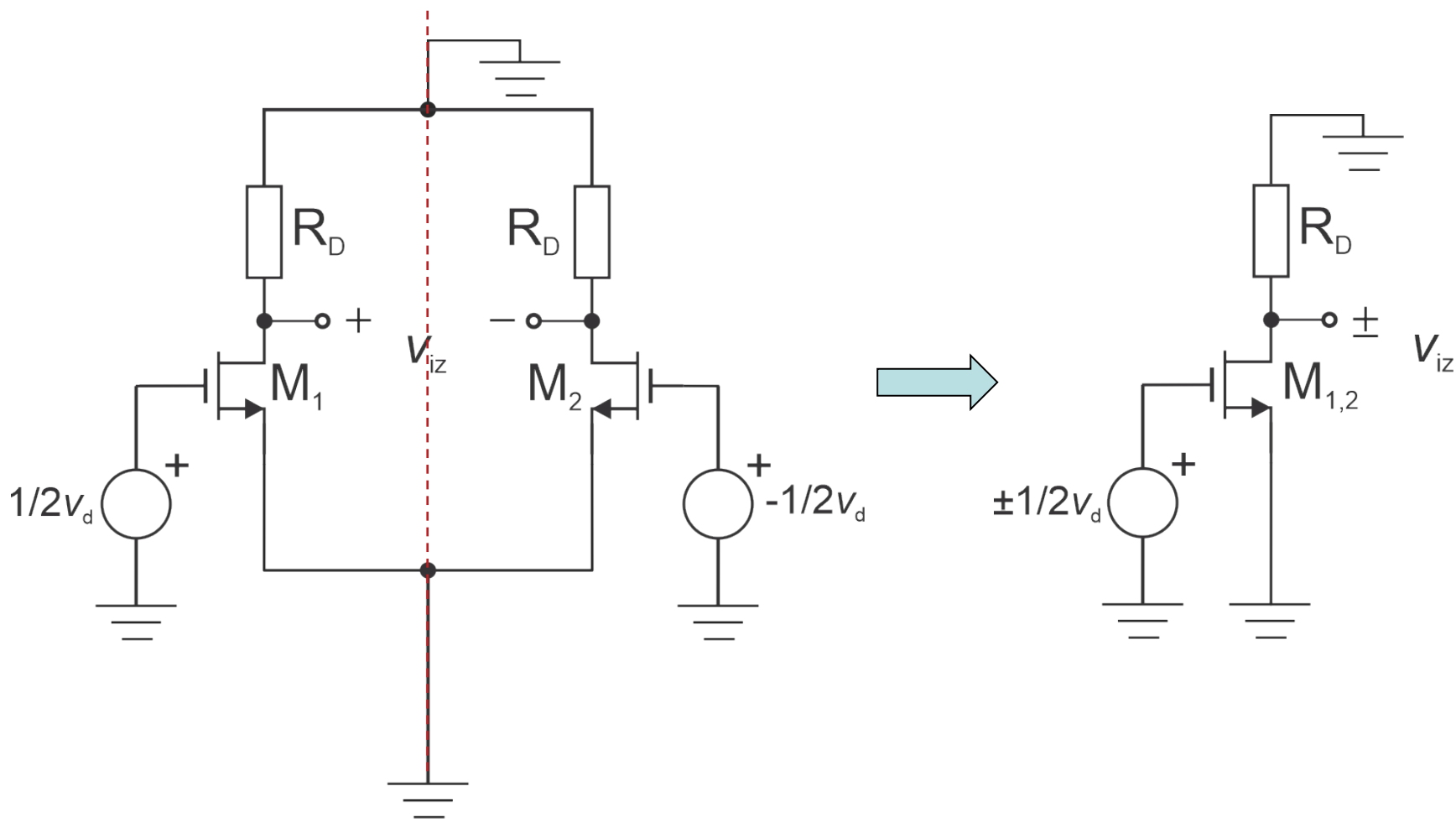


Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje



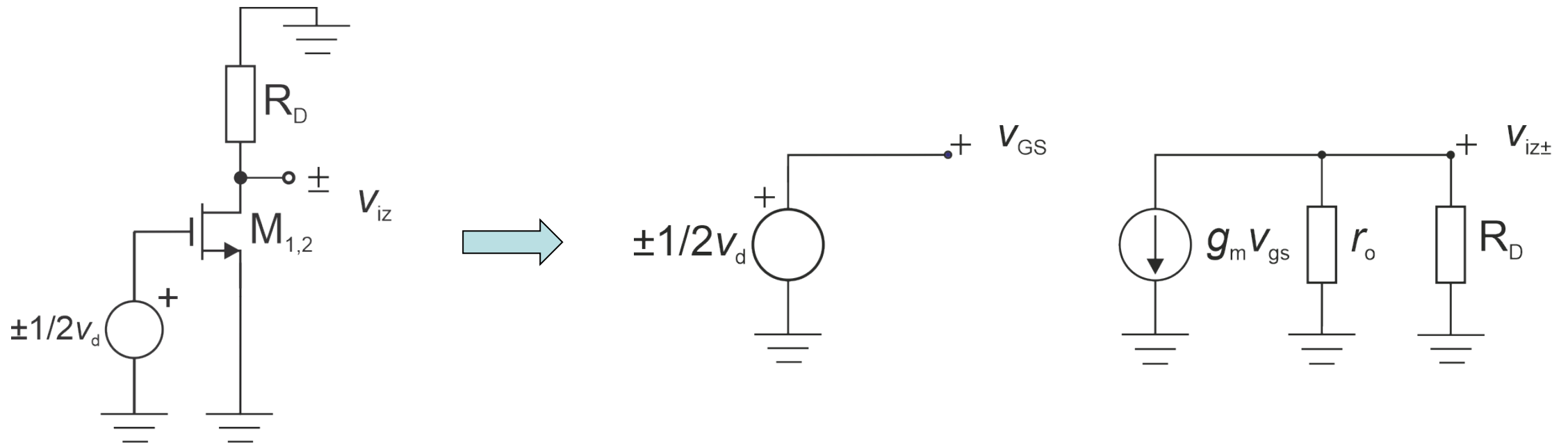
- Analiza za diferencijalni napon.
- Struje kanala tranzistora M_1 i M_2 su jednake po amplitudi i ali u **protivfazi**.
- Kroz otpornik R_S ne protiče struja, sorsevi M_1 i M_2 su na potencijalu mase.

Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje



- Kolo možemo nezavisno da analiziramo za M_1 i M_2 .

Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje



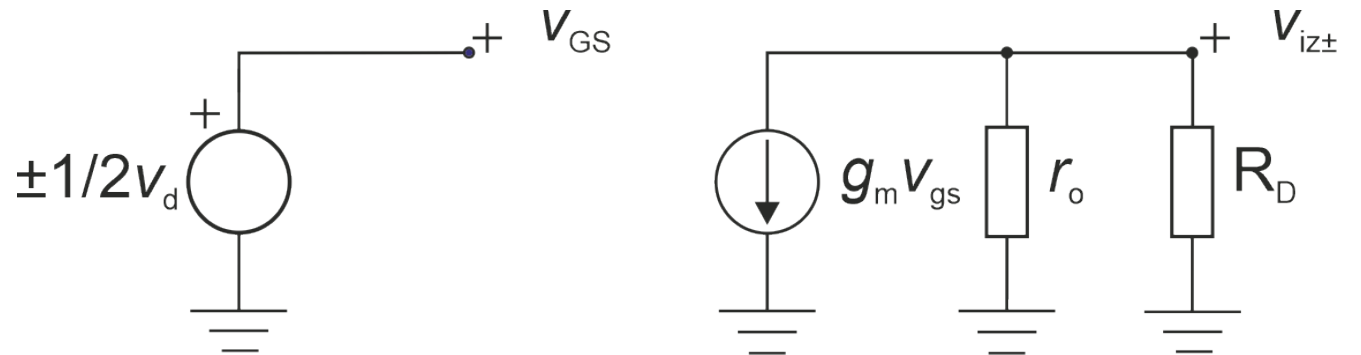
Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje

$$v_{iz+} = -\frac{1}{2} g_m (r_o \parallel R_D) v_d$$

$$v_{iz-} = \frac{1}{2} g_m (r_o \parallel R_D) v_d$$

$$v_{iz} = -g_m (r_o \parallel R_D) v_d$$

$$A_d = -g_m (r_o \parallel R_D)$$

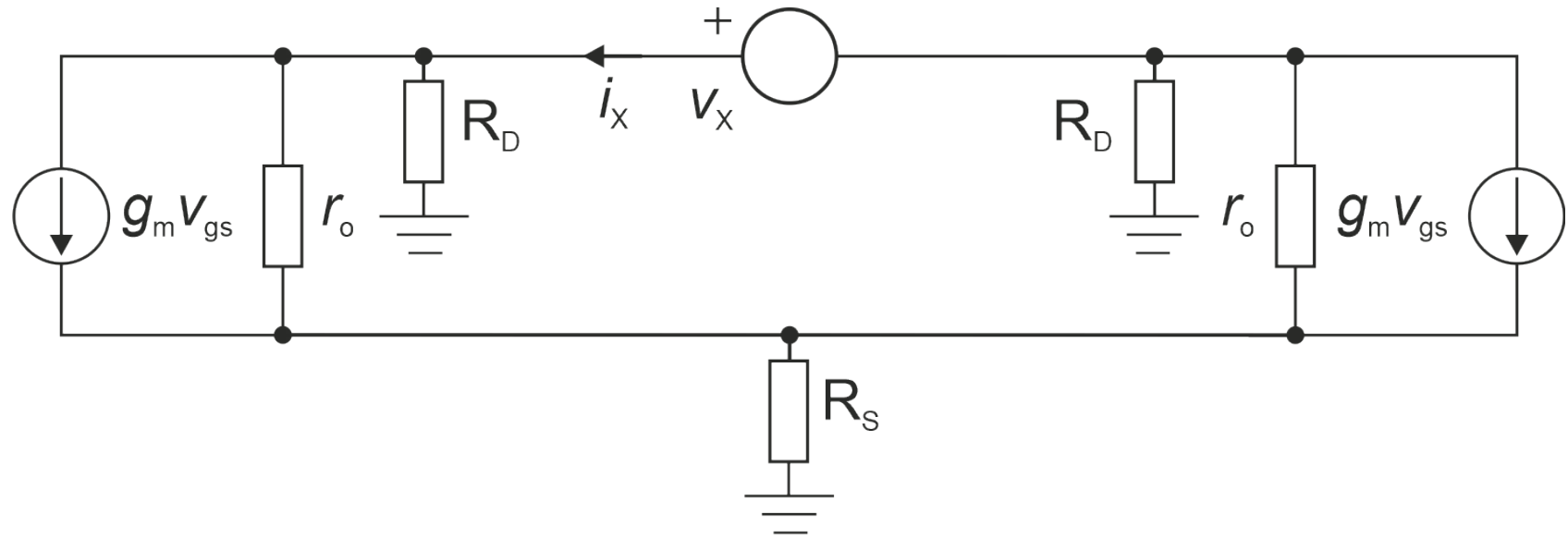


Diferencijalni pojačavač – impedanse

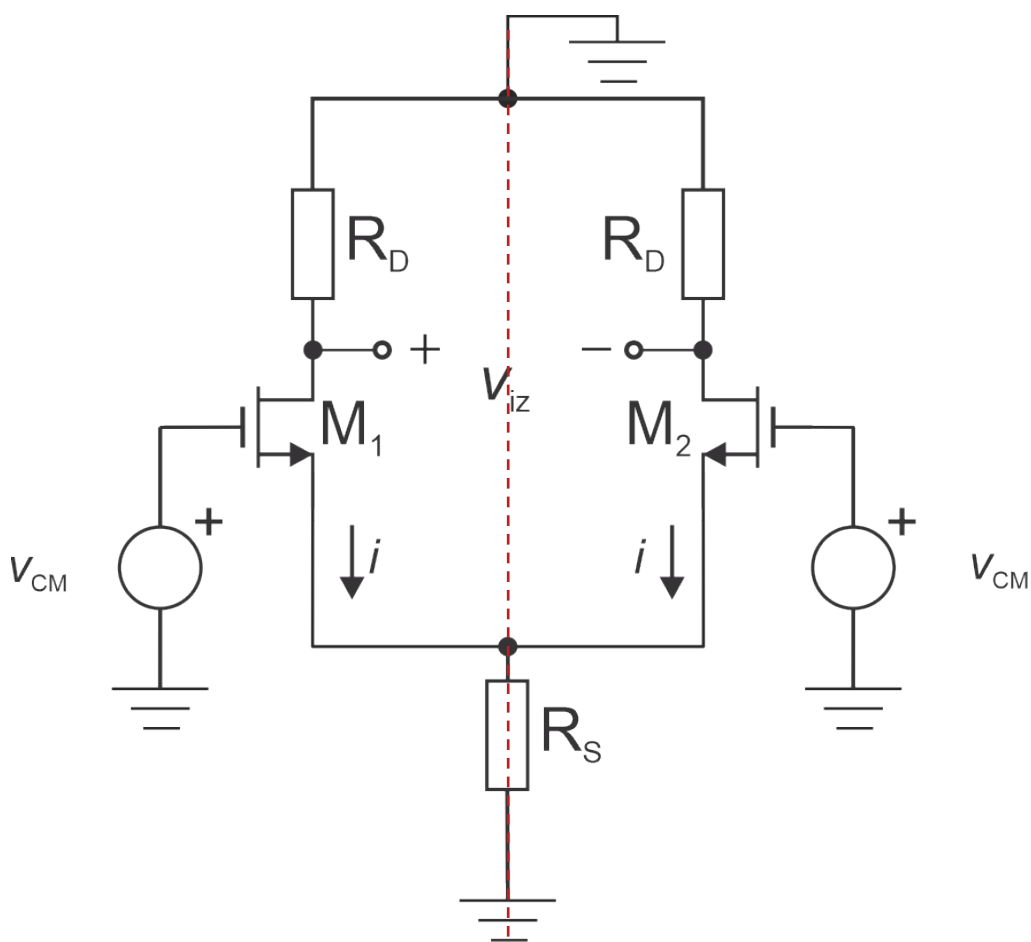
- $v_{gs}=0, R_S \approx \infty$

$$R_{ul} = \infty$$

$$R_{iz} = 2(r_o \parallel R_D)$$

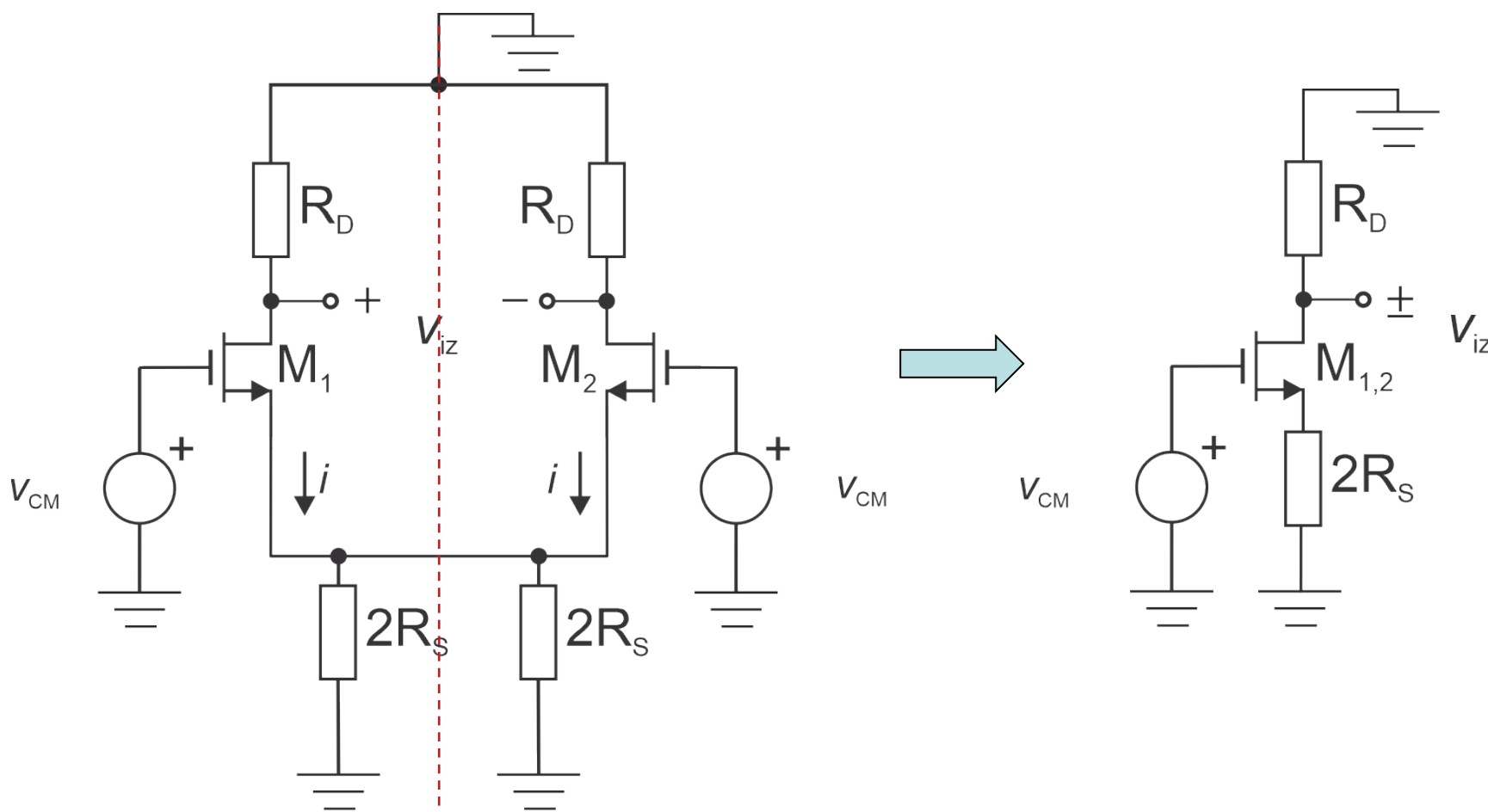


Diferencijalni pojačavač – srednja vrednost signala



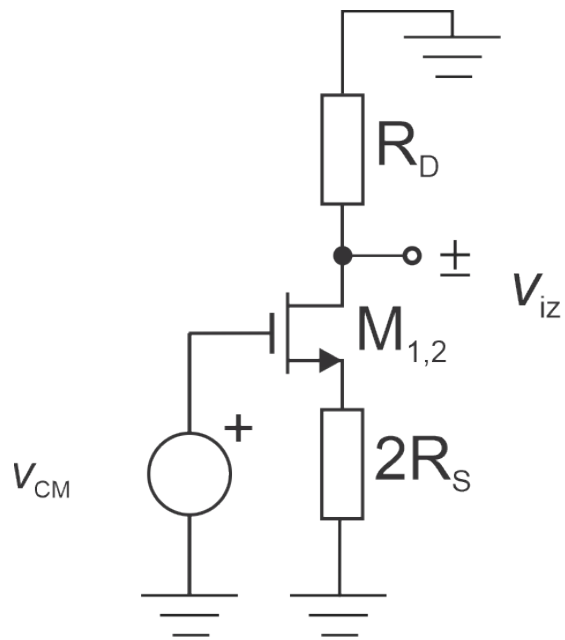
- Analiza za napon srednje vrednosti signala.
- Naizmenična komponenta napona srednje vrednosti signala v_{CM} .
- Struje kanala tranzistora M_1 i M_2 su jednake.
- Kroz otpornik R_S protiče struja dvostruko veća od struja kanala M_1 i M_2 .

Diferencijalni pojačavač – srednja vrednost signala



- Kolo možemo nezavisno da analiziramo za M_1 i M_2 .

Diferencijalni pojačavač – srednja vrednost signala



- Pojačavač sa degenerisanim sorsom ($r_o = \infty$)

$$v_{iz} = \frac{-g_m R_D}{1 + 2g_m R_S} v_{CM}$$

$$A_{CM} = \frac{-g_m R_D}{1 + 2g_m R_S}$$

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{CM}} = 1 + 2g_m R_S$$