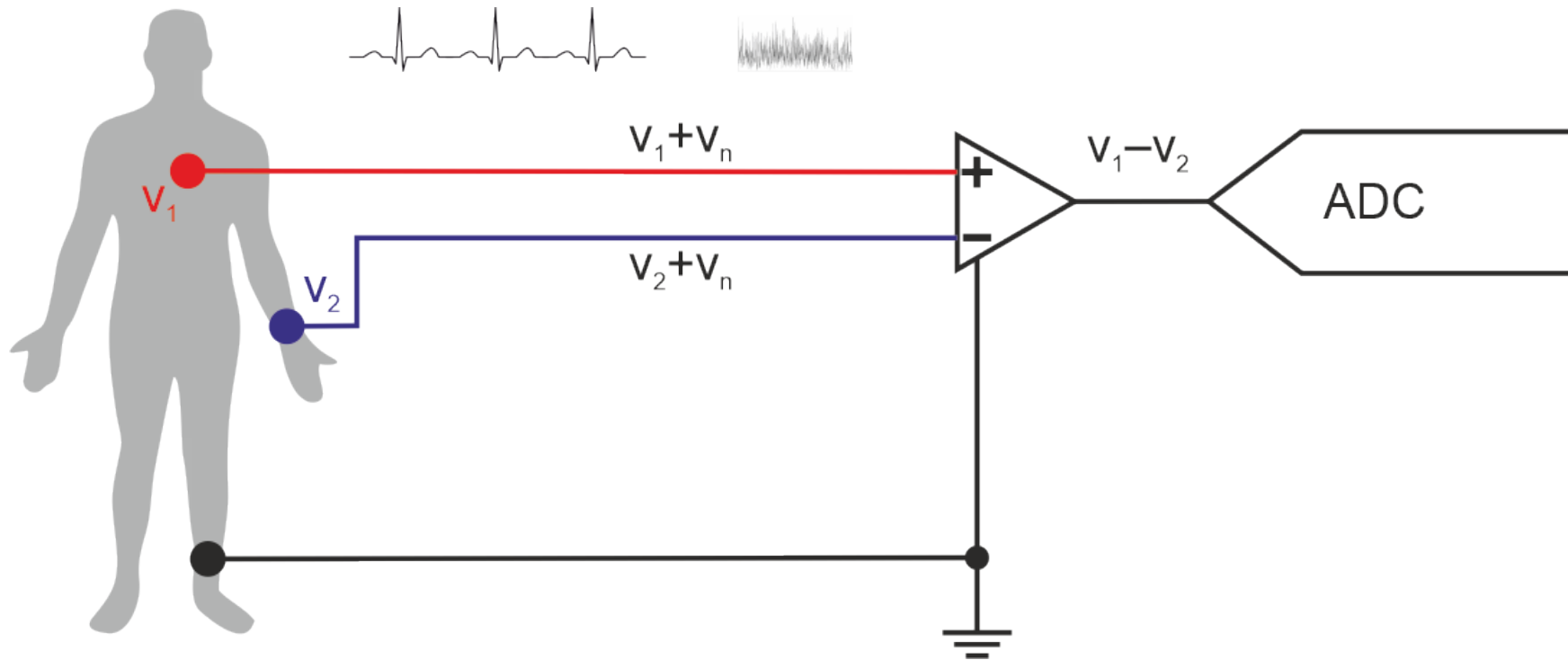


# Diferencijalni pojačavači

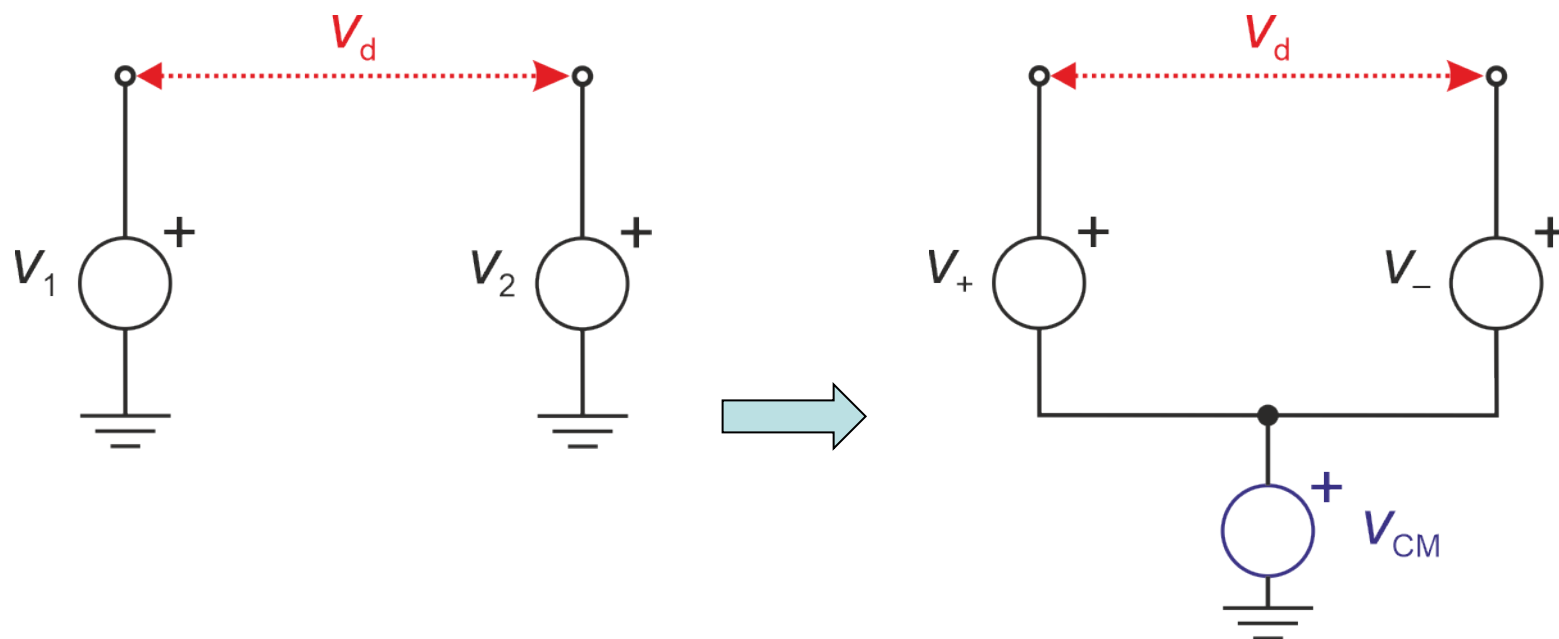
# Smetnje i šum

- Koristan signal je degradiran smetnjama i šumom



# Diferencijalni naponi i napon srednje vrednosti

- Diferencijalni naponi i napon srednje vrednosti signala



$$v_d = v_1 - v_2$$

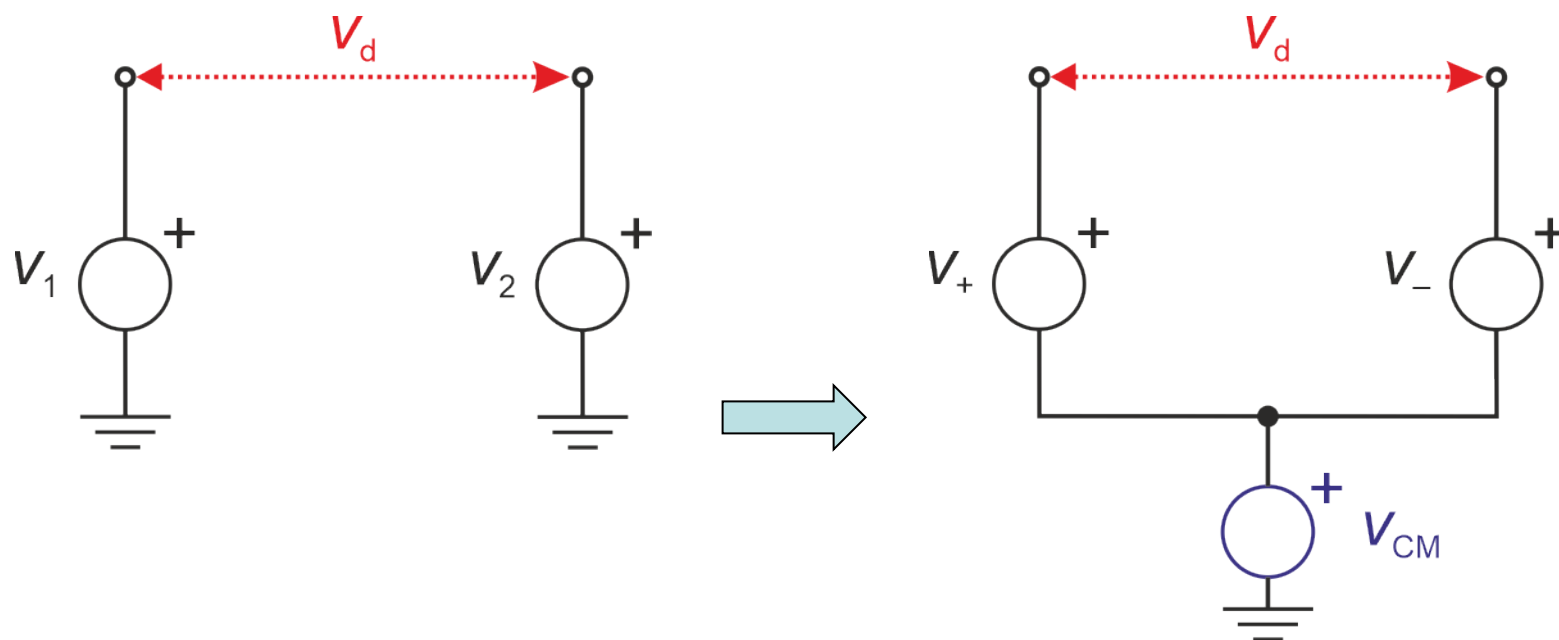
$$v_+ = \frac{1}{2} v_d$$

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

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

# Diferencijalni naponi i napon srednje vrednosti

- Diferencijalni naponi i napon srednje vrednosti signala



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

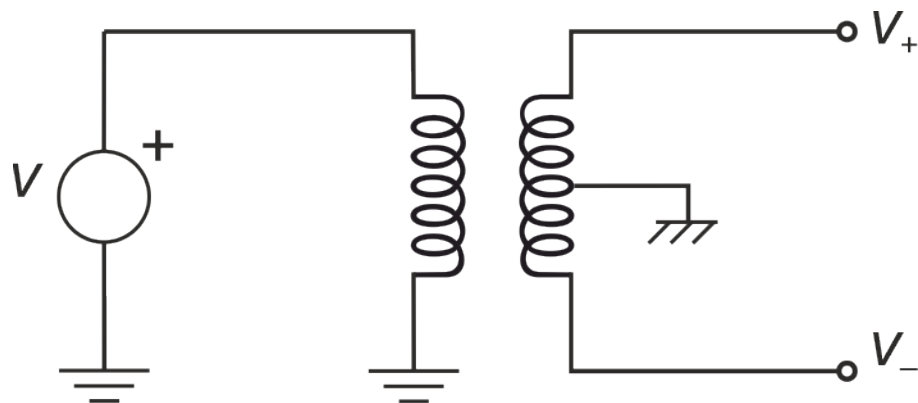
$$v_2 = -\frac{v_d}{2} + v_{CM}$$

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

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

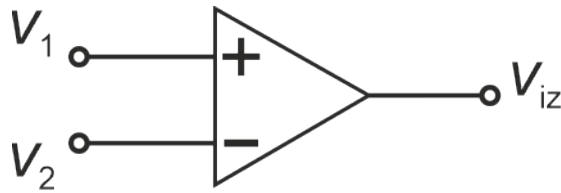
# Diferencijalni naponi

- 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  $A_{CM}$

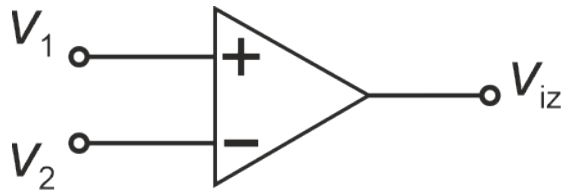


$$v_{iz} = A_d(v_1 - v_2) + A_{CM} \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$A_d \gg A_{CM}$$

# Faktor potiskivanja srednje vrednosti signala

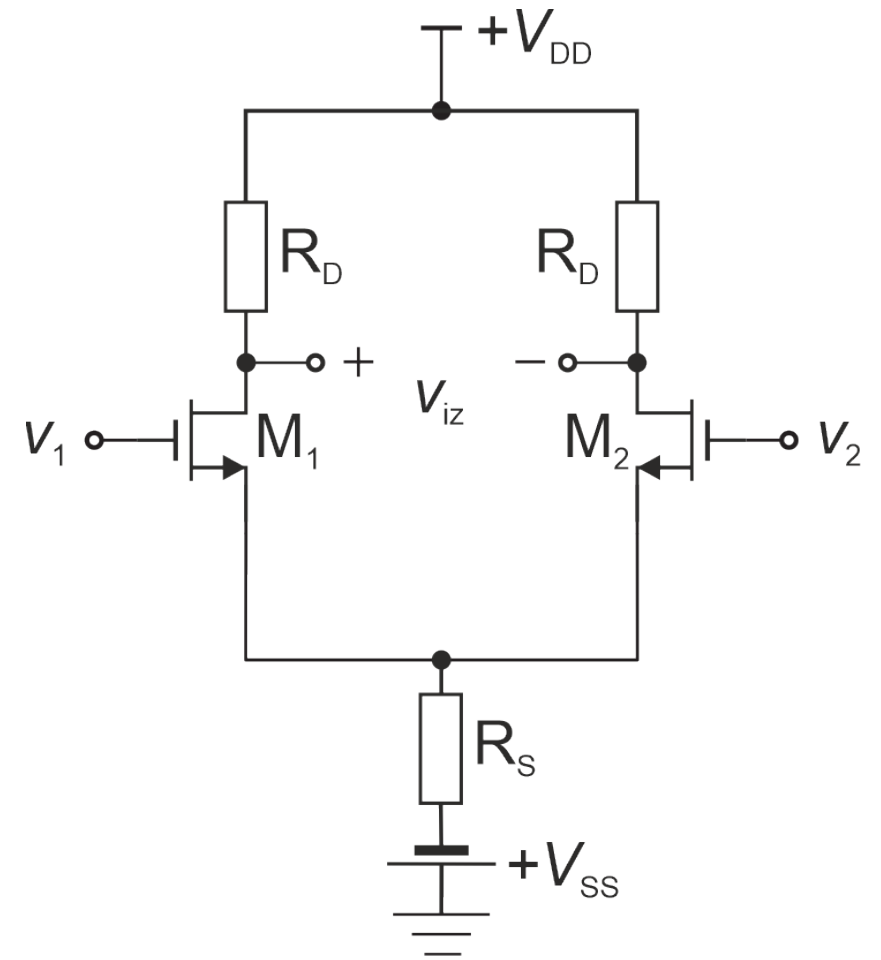
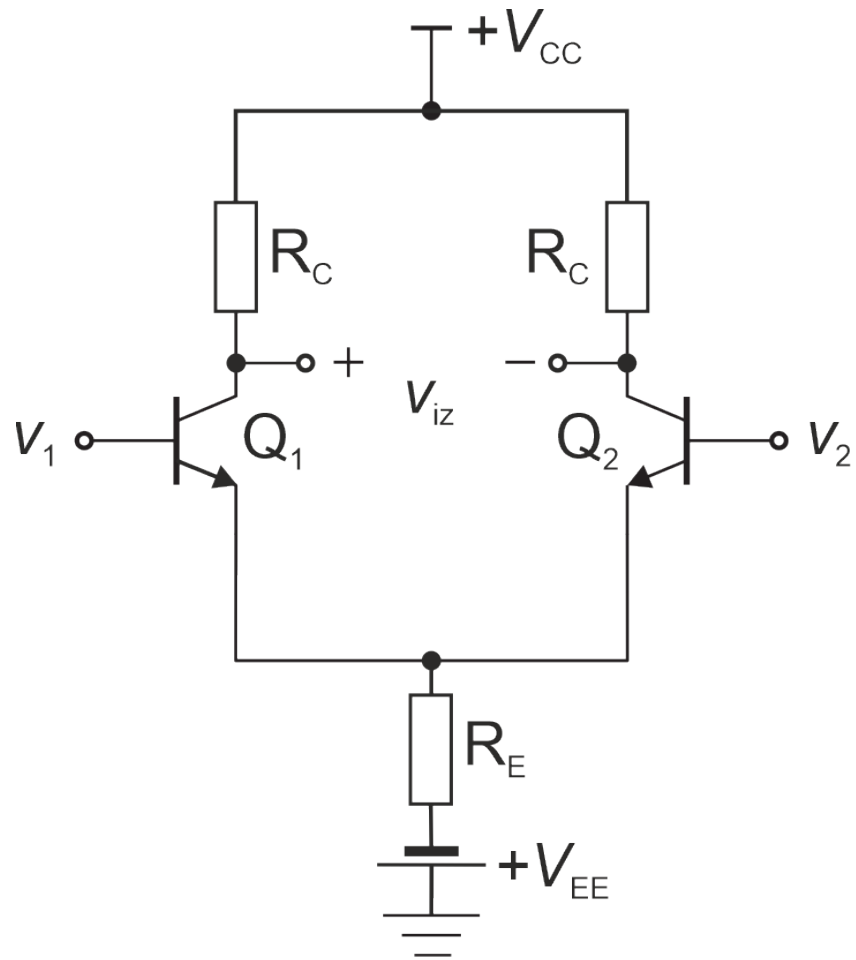
- Faktor potiskivanja srednje vrednosti signala – **Common Mode Rejection Ratio (CMRR)**



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

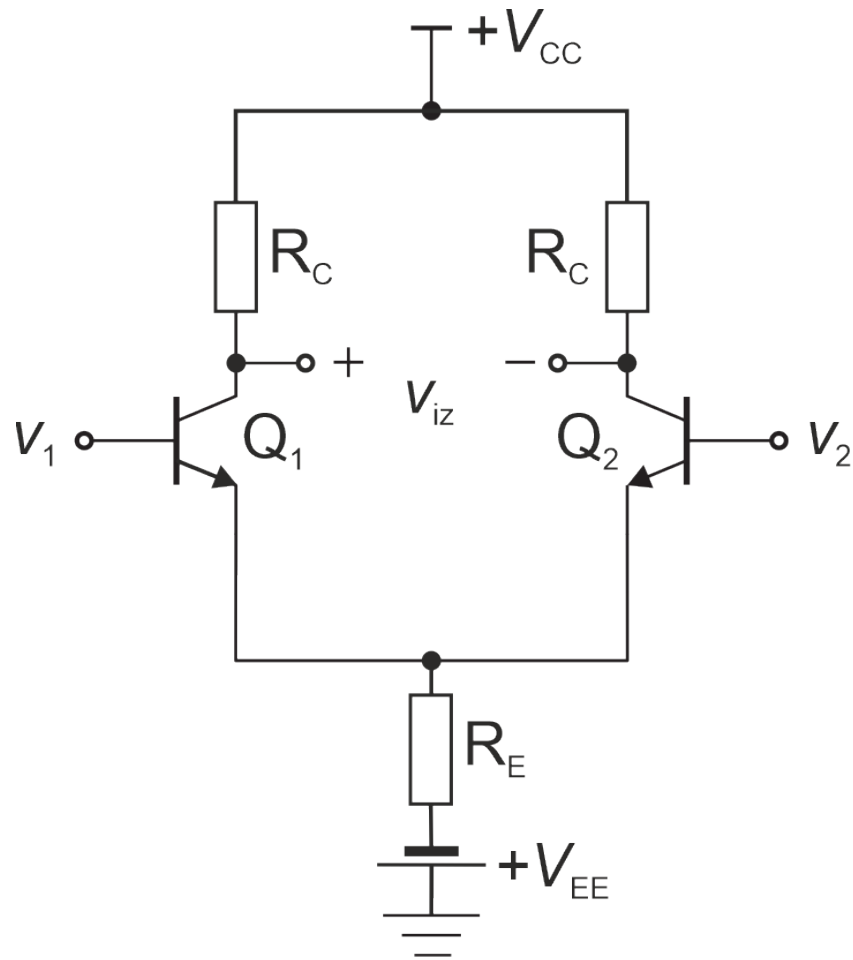
$$\text{CMRR} [\text{dB}] = 20 \log \frac{A_d}{A_{\text{CM}}}$$

# Diferencijalni pojačavač



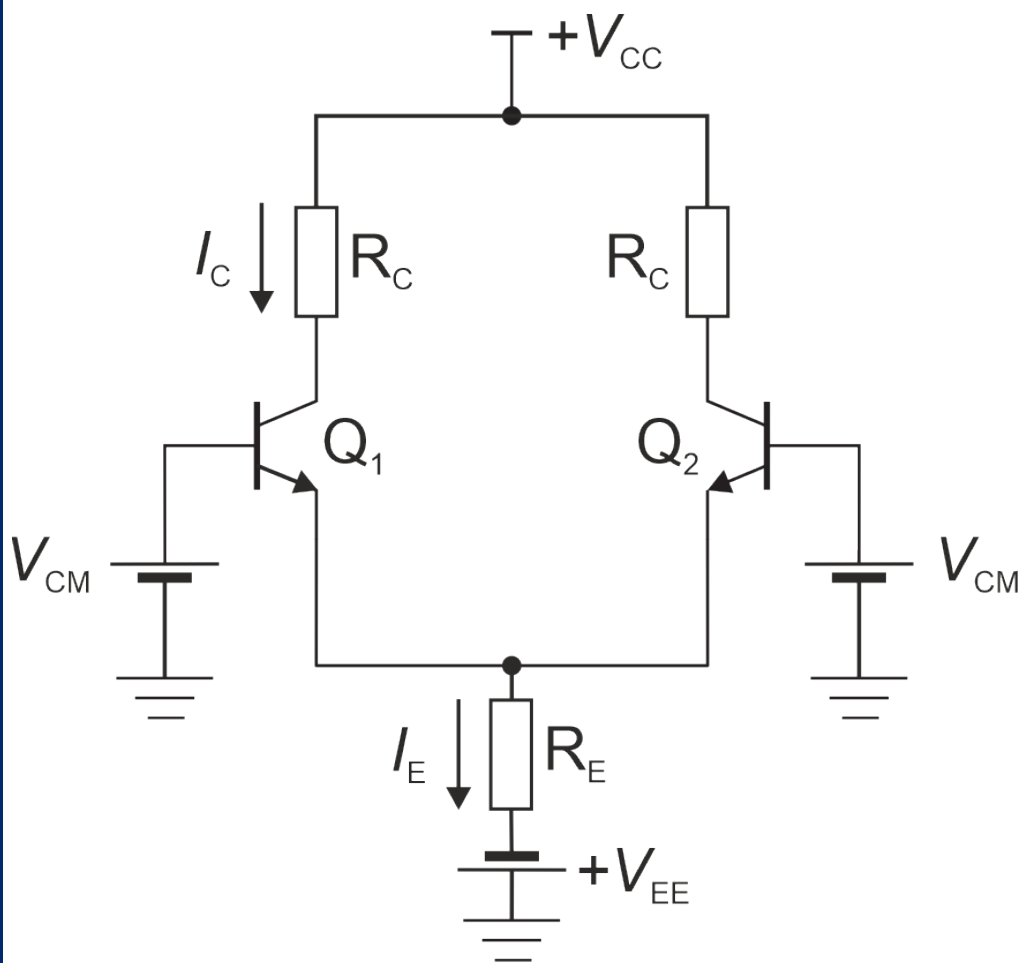


# Diferencijalni pojačavač sa bipolarnim tranzistorima



- Analiza za jednosmerni režim
- Analiza za velike signale
- Analiza za male signale, diferencijalni signal
- Analiza za male signale, srednja vrednost signala

# Diferencijalni pojačavač



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

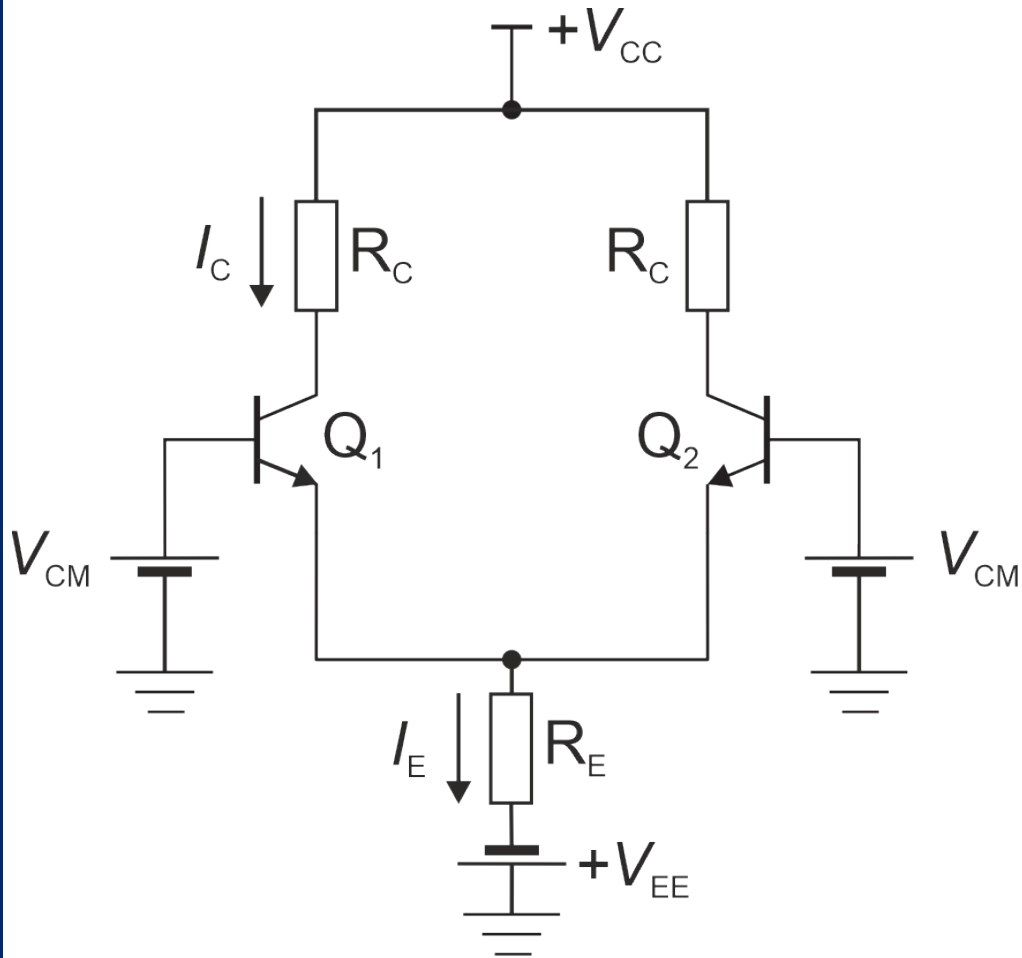
$$V_1 = V_2 = V_{CM}$$

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

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

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

# Diferencijalni pojačavač – jednosmerna polarizacija



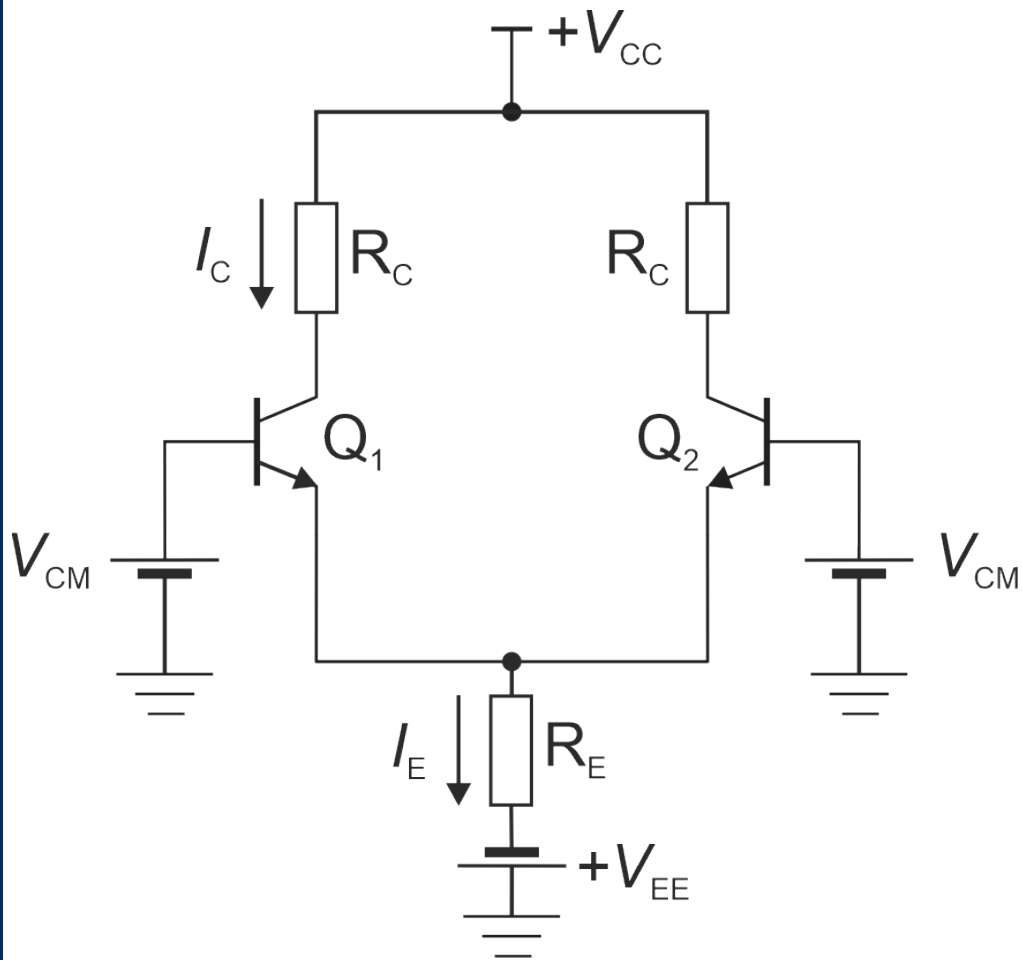
- Kolo je simetrično,  $Q_1$  i  $Q_2$  su identični,  $R_C$  ima istu otpornost u obe kolektorske grane

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

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

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

# Diferencijalni pojačavač – jednosmerna polarizacija



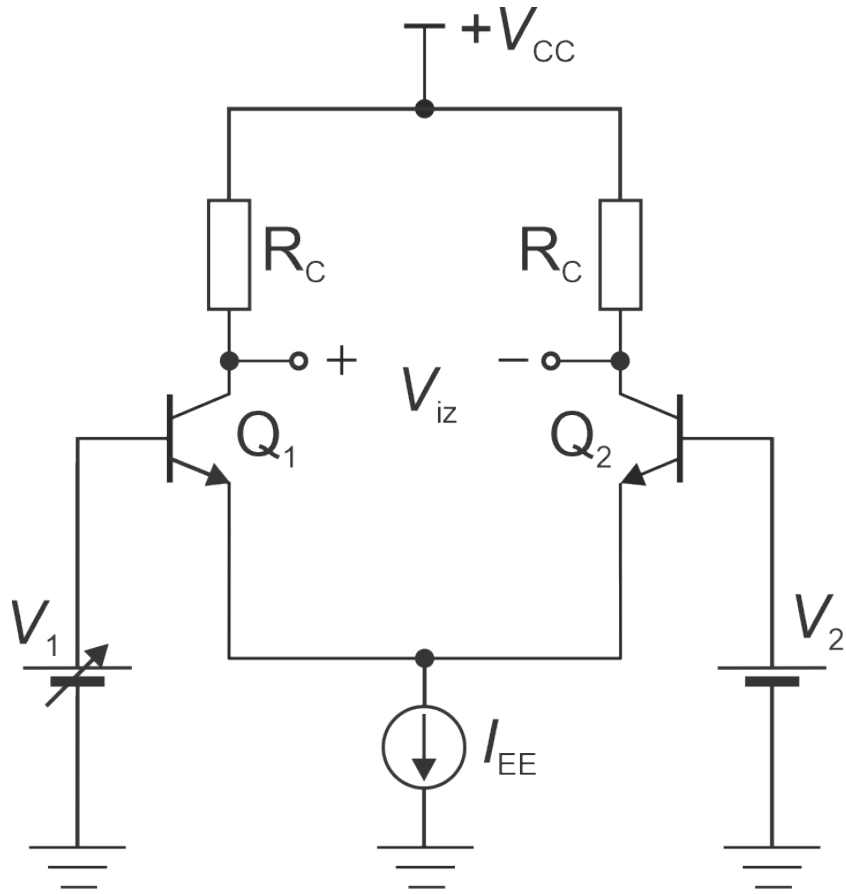
$$I_C = \frac{1}{2} \frac{\beta}{\beta + 1} I_E \approx \frac{I_E}{2}$$

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

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

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

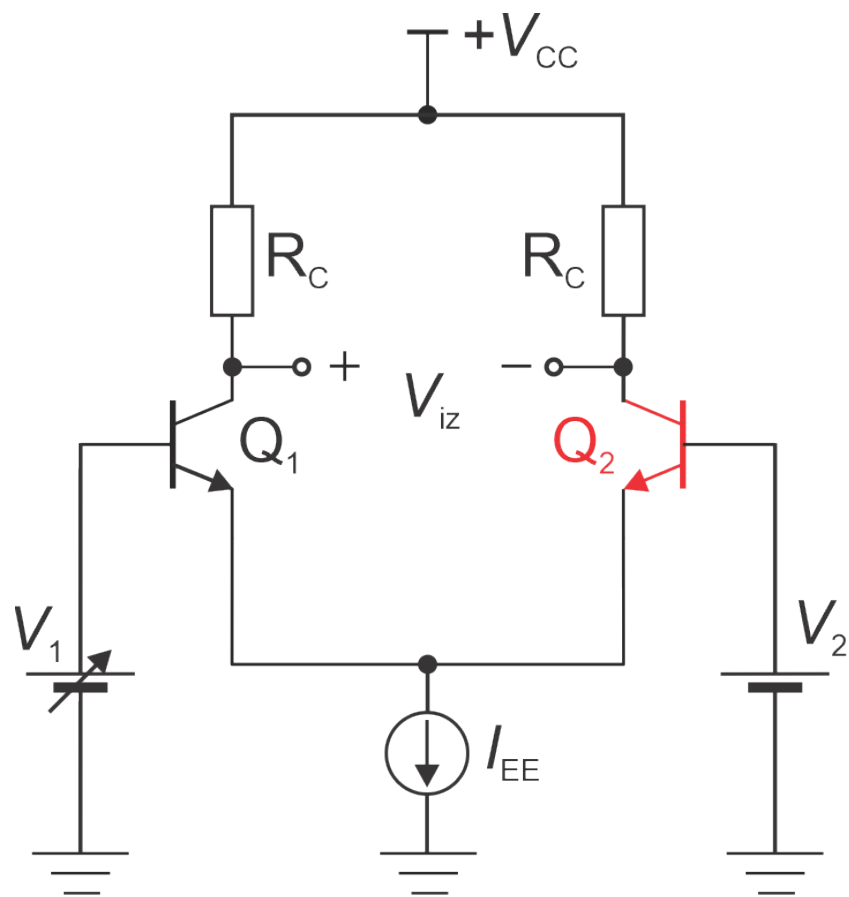
# Diferencijalni pojačavač – veliki signali



- $V_1$  i  $V_2$  su veliki signali,  $V_1 \neq V_2$
- Simetrija kola je narušena, struje emitora (samim tim i 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

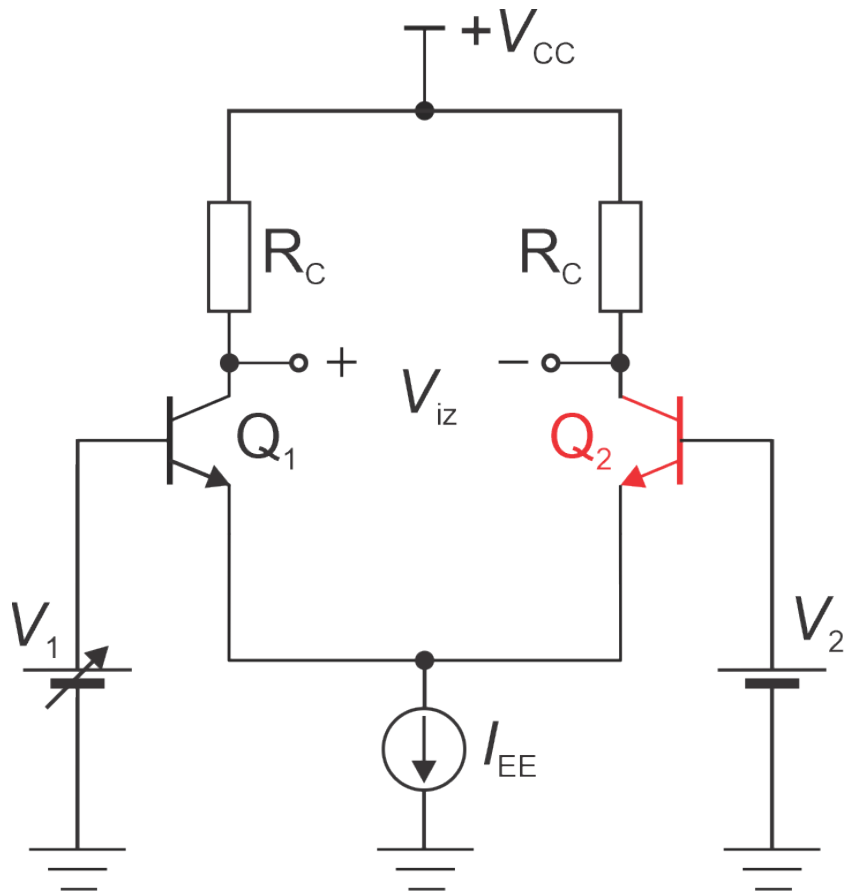
$$V_E = V_1 - V_{BE1}$$

# 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



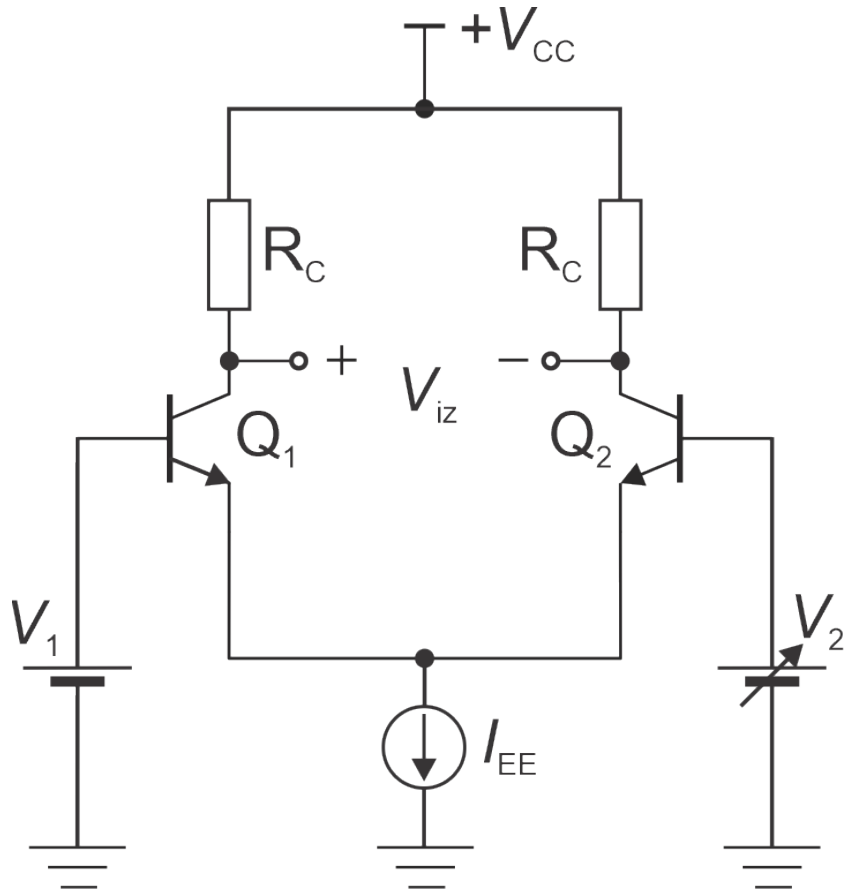
- U ovom slučaju imamo:

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

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

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

# Diferencijalni pojačavač – veliki signali

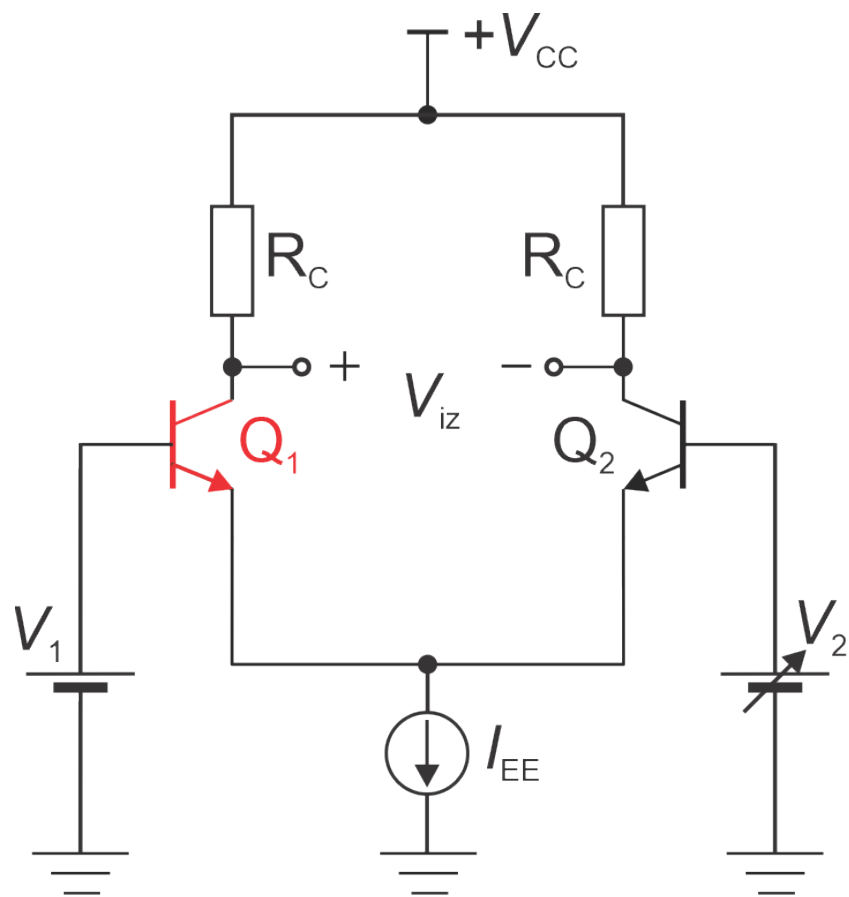


- Neka je sada  $V_1 < V_2$ ,  $V_1$  je konstantno a  $V_2$  se povećava, pošto su emitori na istom potencijalu ( $V_E$ ), sledi

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

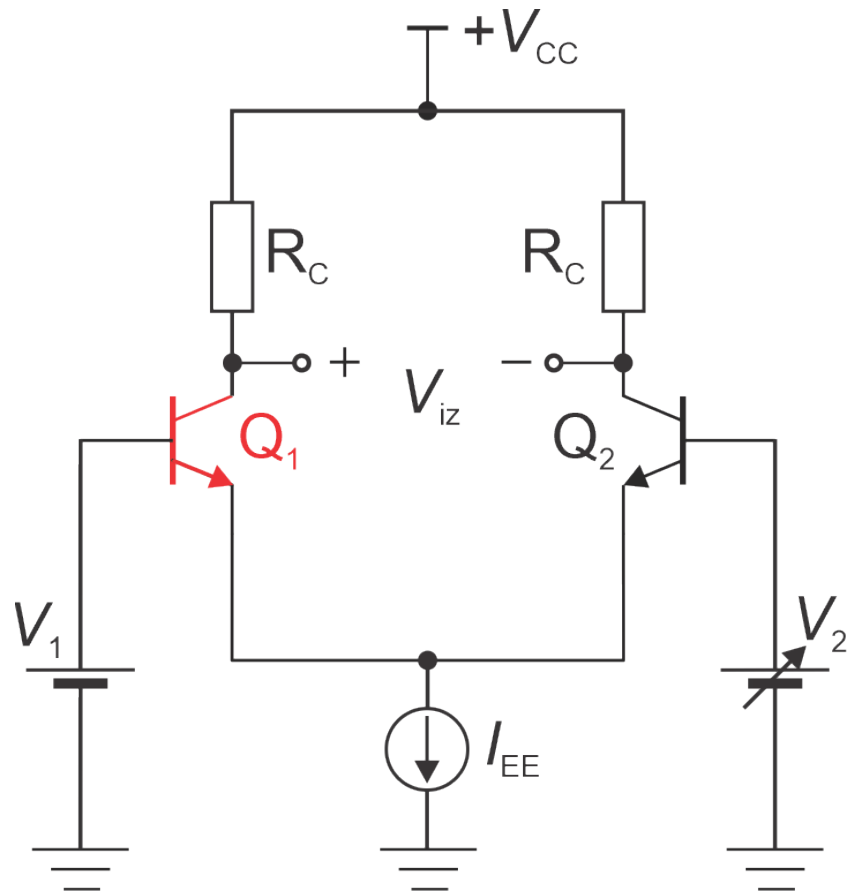


# Diferencijalni pojačavač – veliki signali



- 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



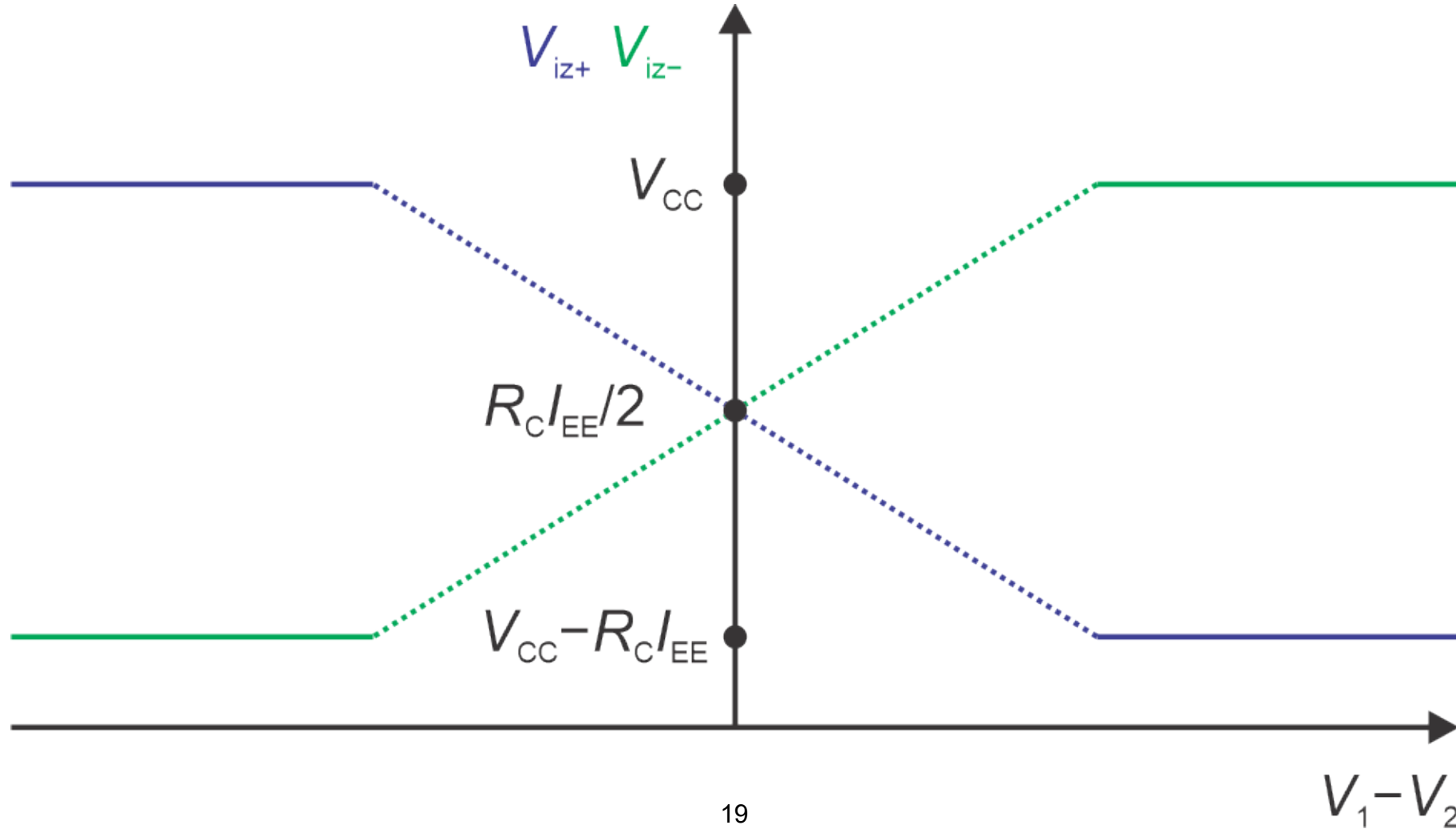
- U ovom slučaju imamo:

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

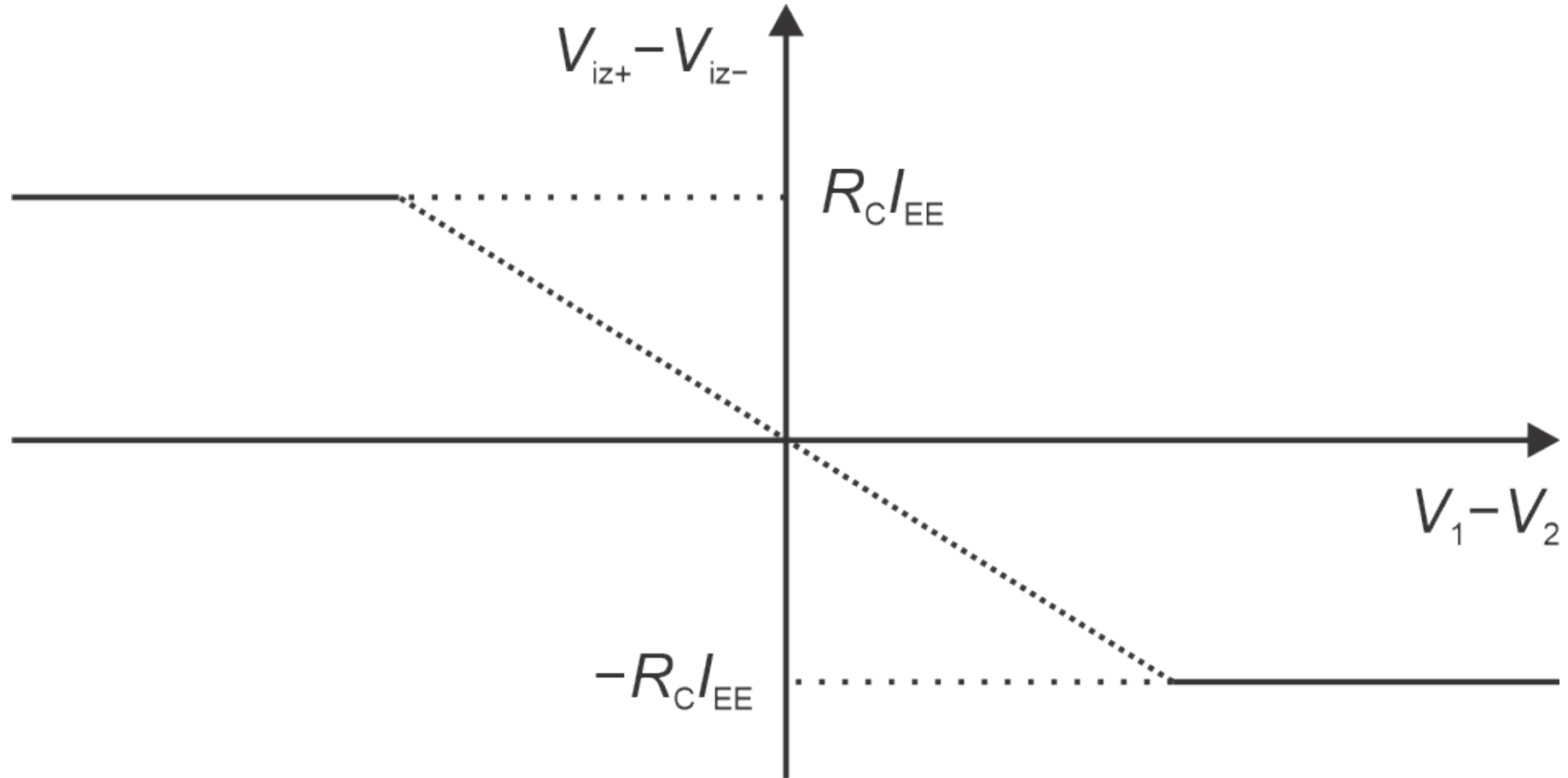
$$V_{iz+} = V_{CC}$$

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

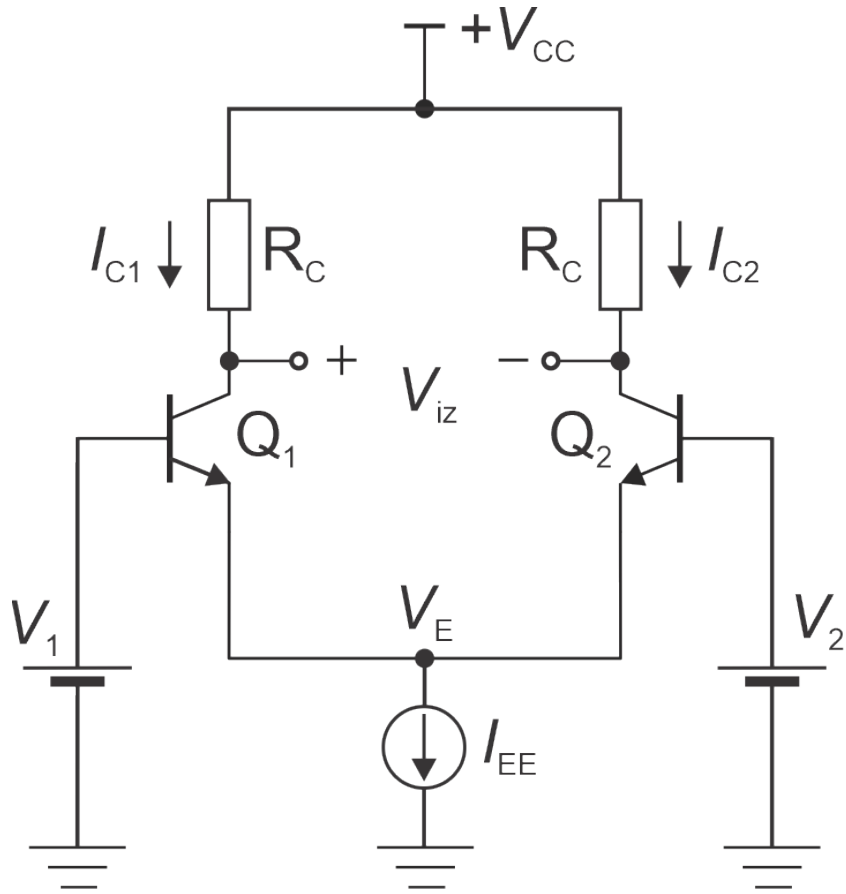
# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



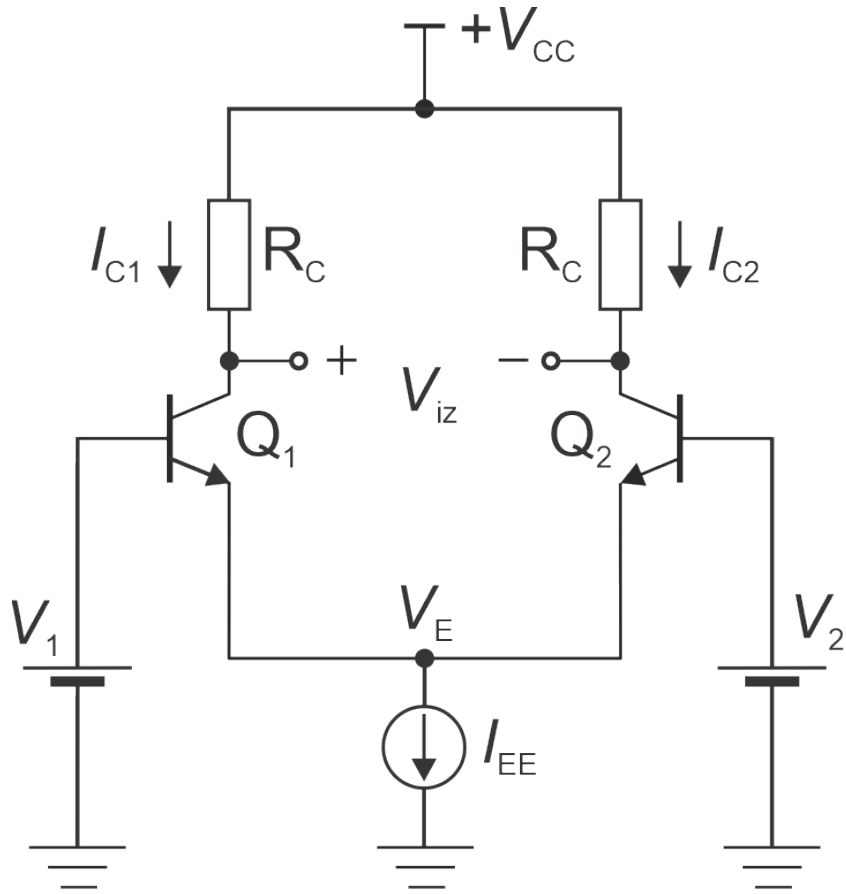
$$V_E = V_1 - V_{BE1} = V_2 - V_{BE2}$$

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

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

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

# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

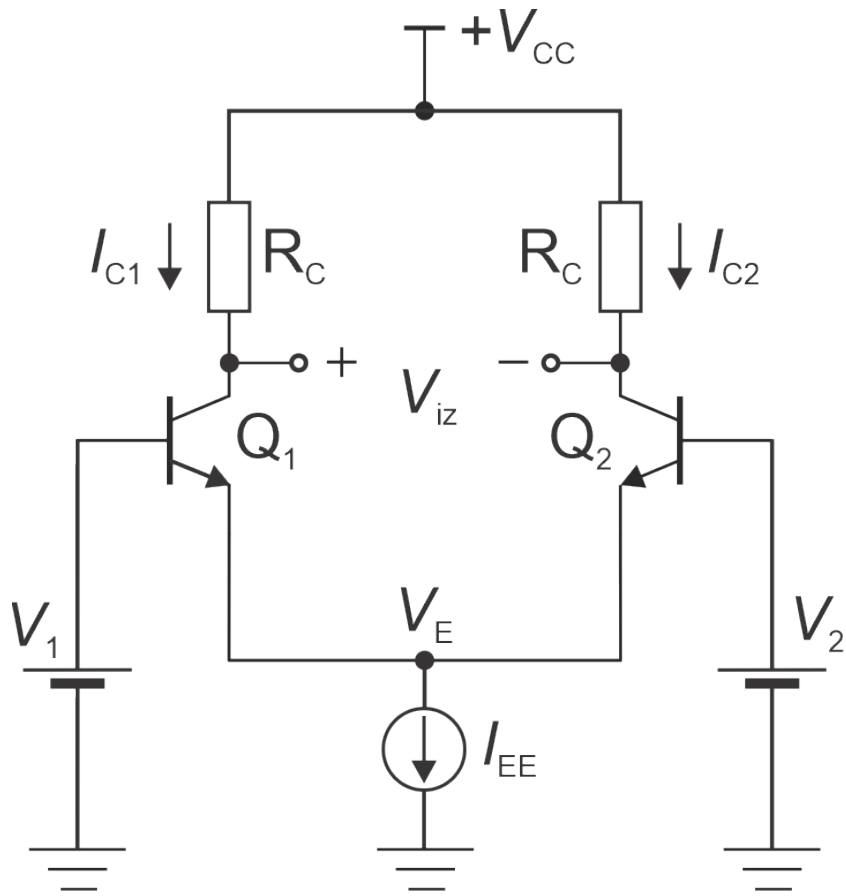


$$V_1 - V_2 = V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_S} - V_T \ln \frac{I_{C2}}{I_S}$$

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

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

# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



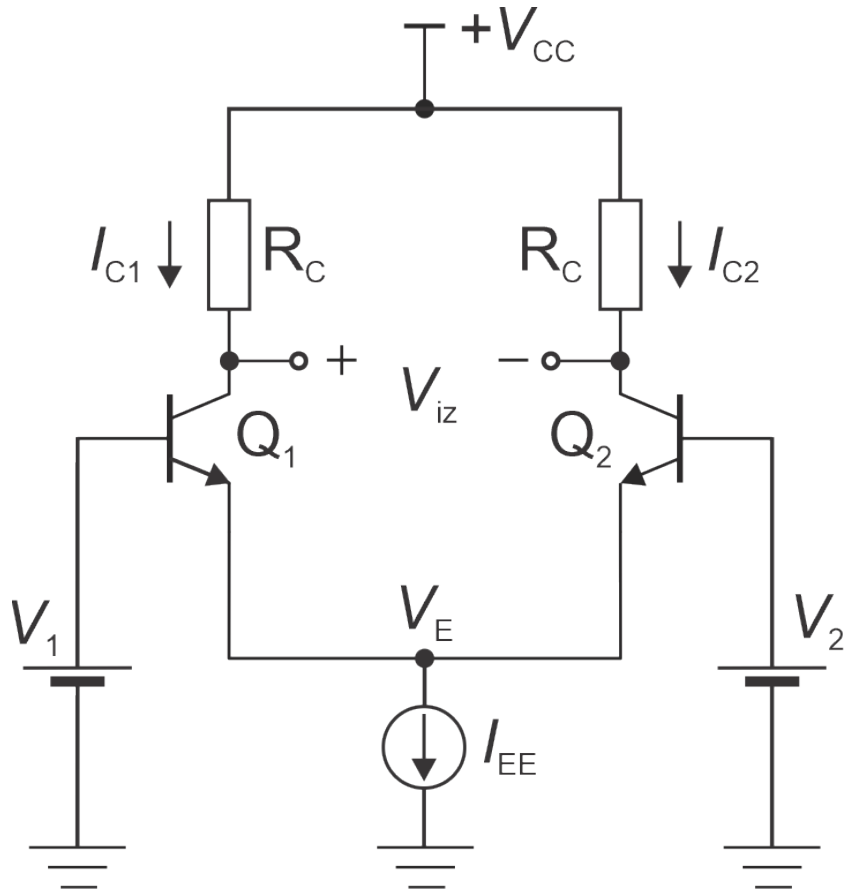
$$\beta \gg 1, \quad I_{C1} \approx I_{E1}, \quad I_{C2} \approx I_{E2}$$

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

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

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

# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

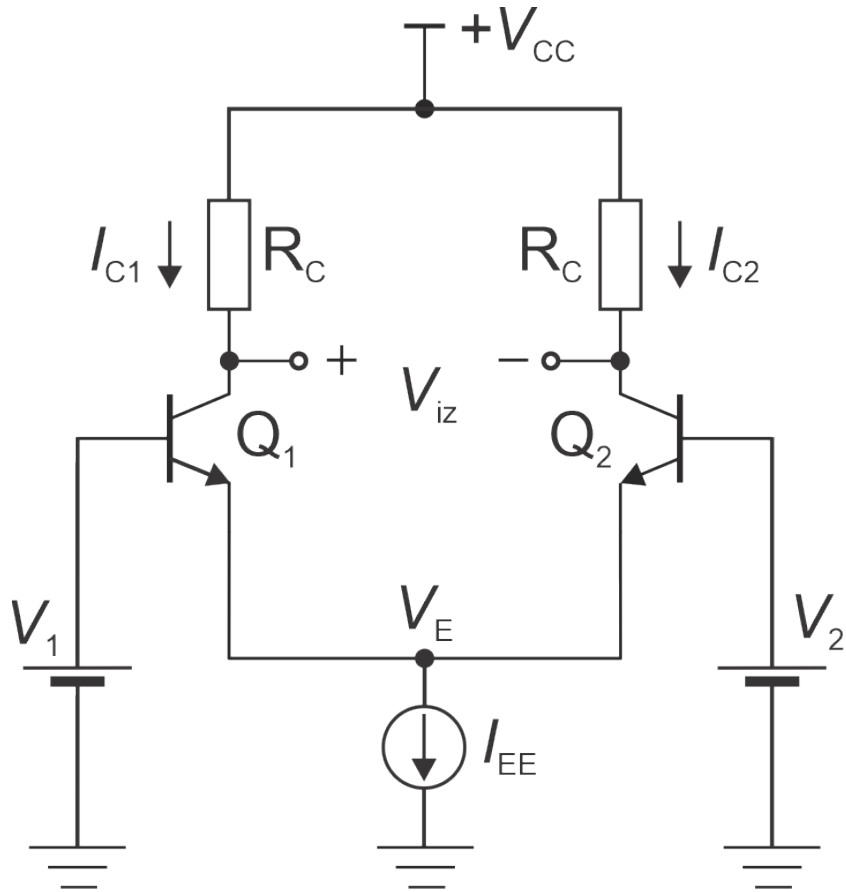


$$I_{C1} = \frac{I_{EE}}{1 + \exp\left(\frac{V_2 - V_1}{V_T}\right)}$$

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



# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

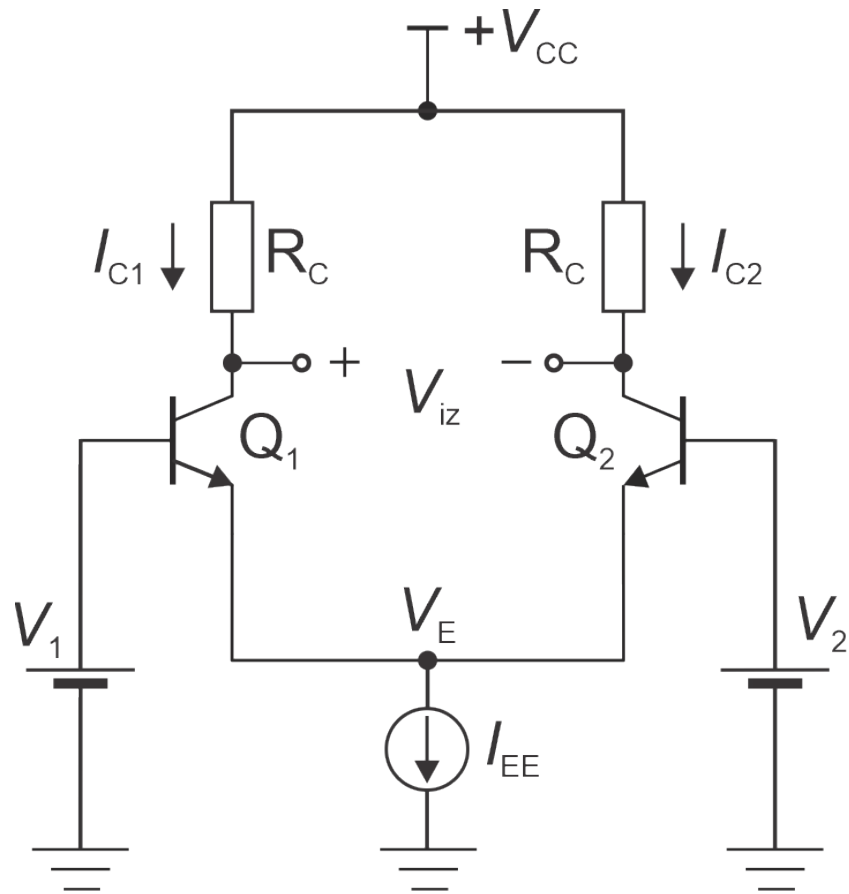


$$V_{iz+} = V_{CC} - I_{C1}R_C, \quad V_{iz-} = V_{CC} - I_{C2}R_C$$

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

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

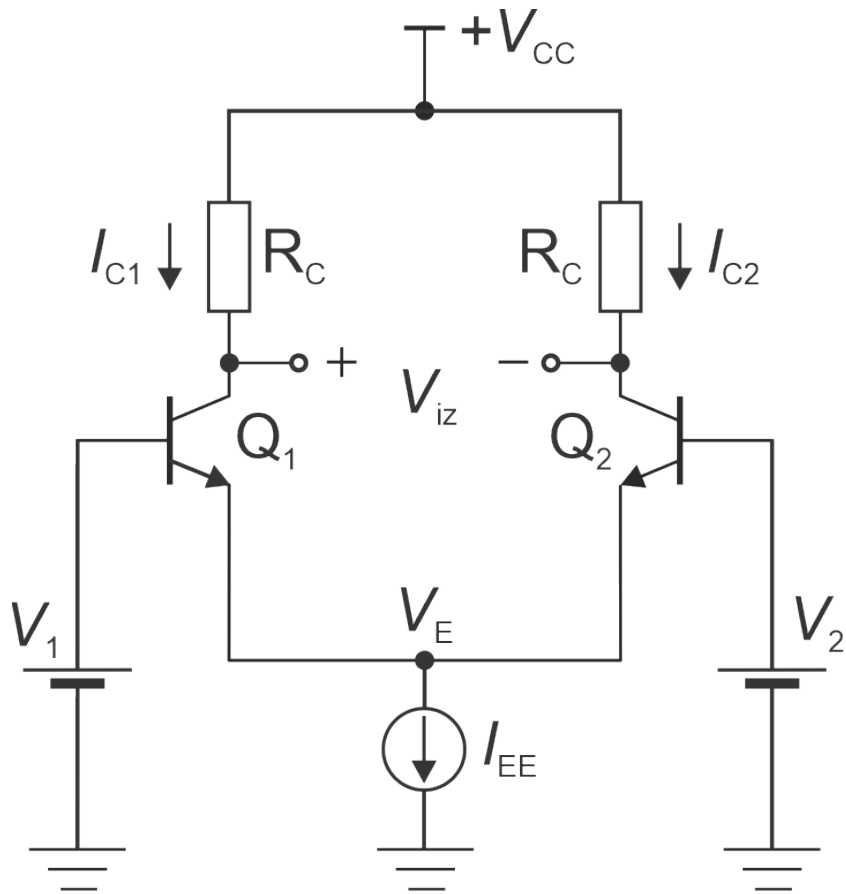
# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



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

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

# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

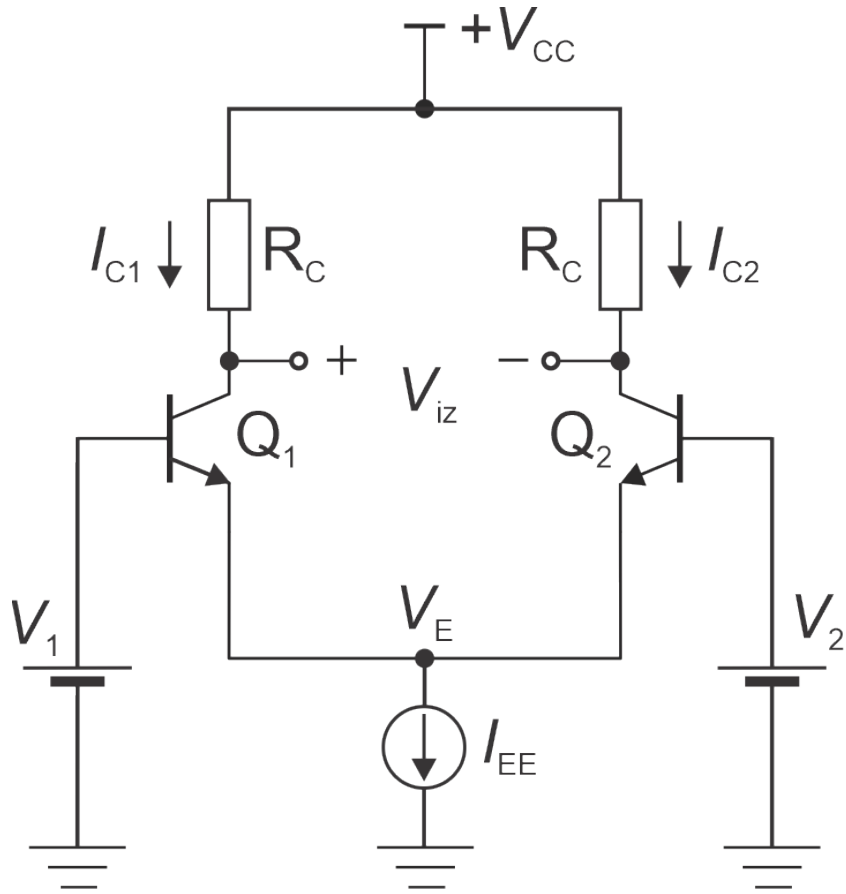


$$V_{iz+} - V_{iz-} = -R_C I_{EE} \tanh\left(\frac{V_1 - V_2}{2V_T}\right)$$

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

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

# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

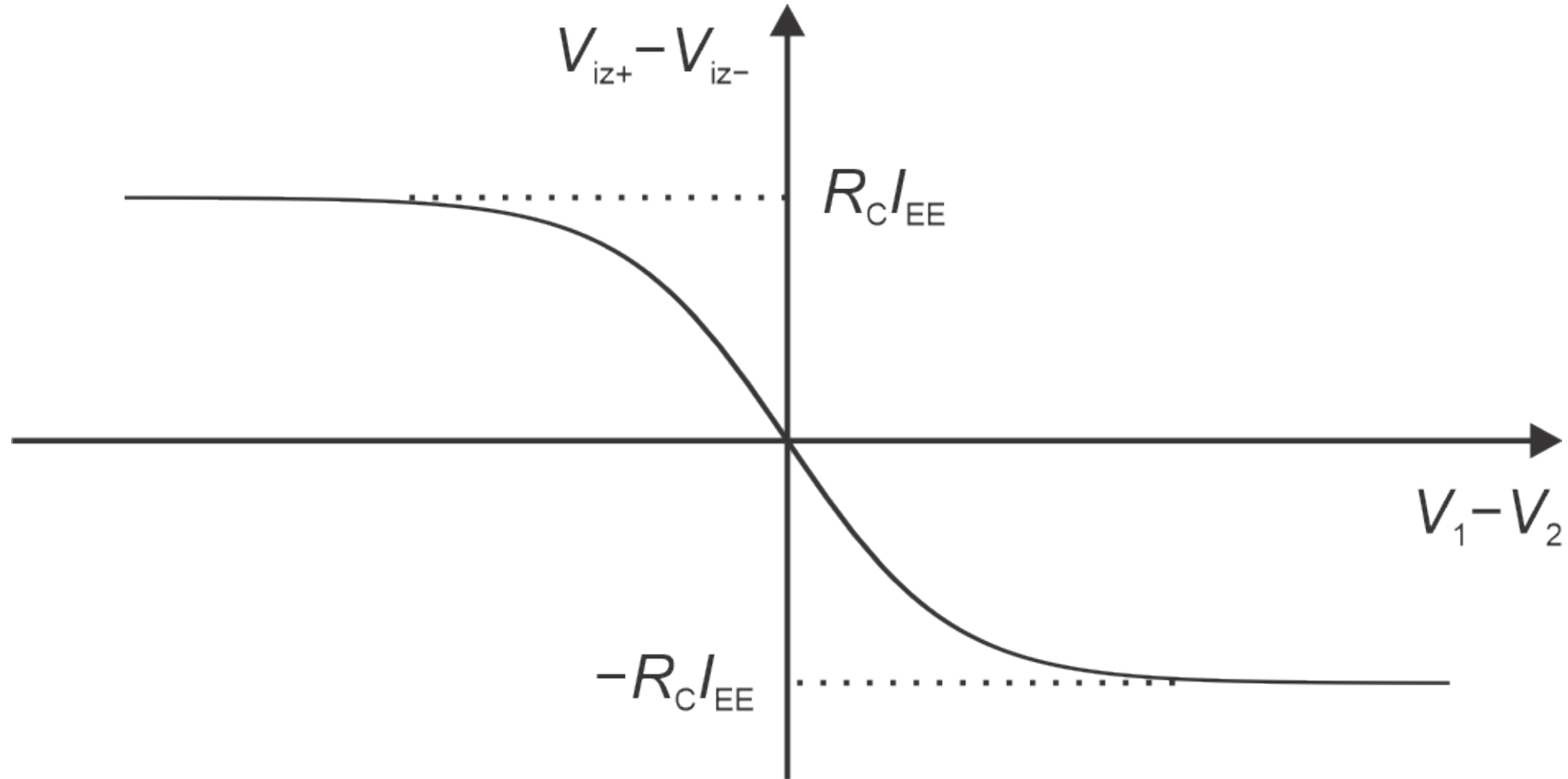


$$V_{iz+} - V_{iz-} = -R_C I_{EE} \tanh\left(\frac{V_1 - V_2}{2V_T}\right)$$

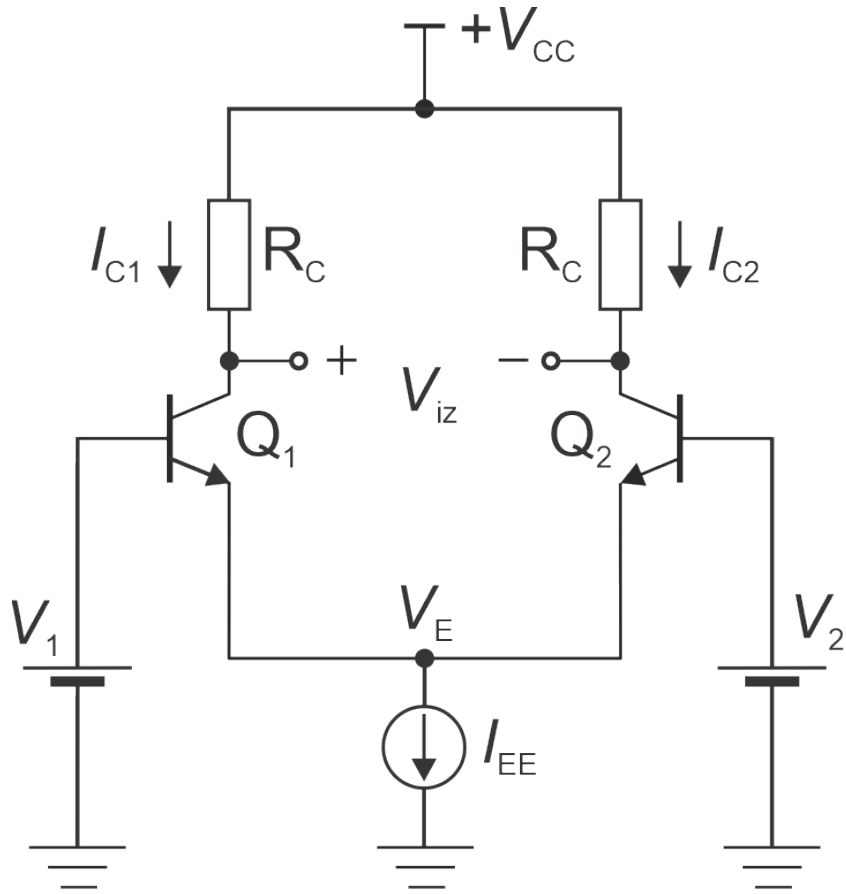
$$V_1 - V_2 \ll 2V_T, \quad V_{iz+} - V_{iz-} \approx -\frac{R_C I_{EE}}{2V_T} (V_1 - V_2)$$

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

# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

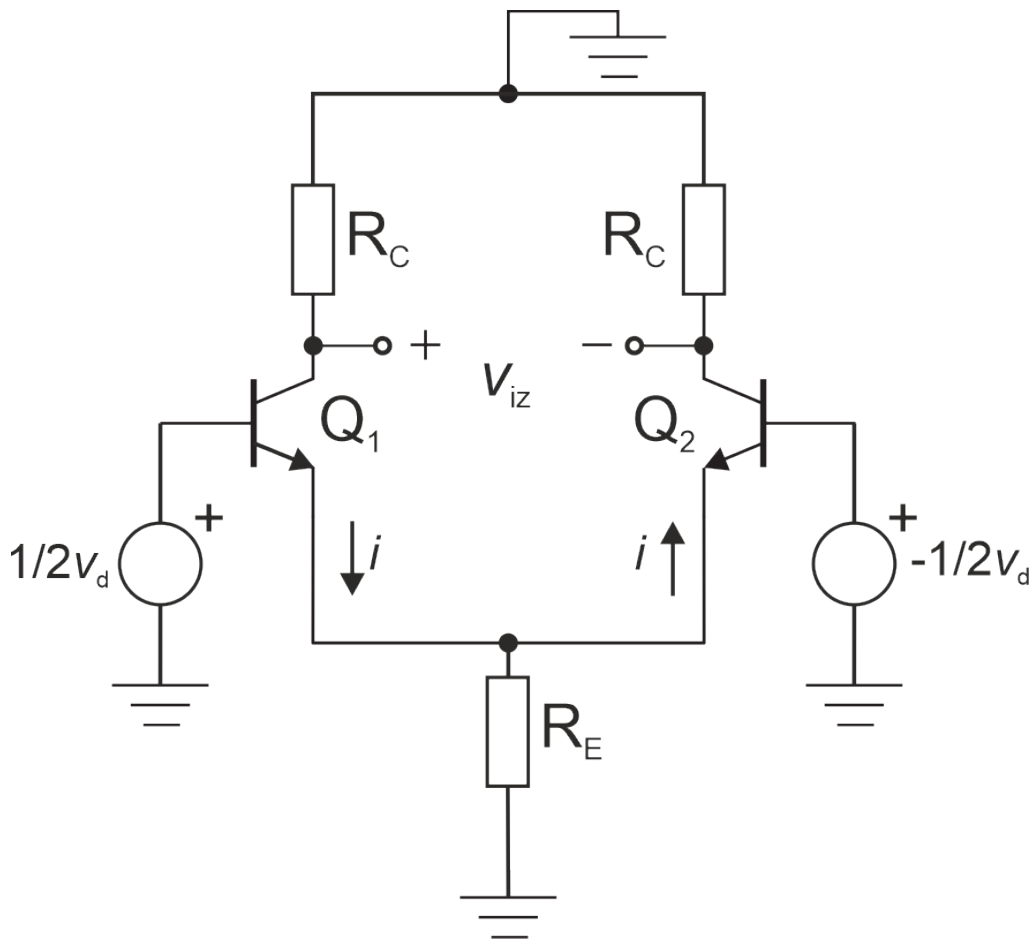


# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



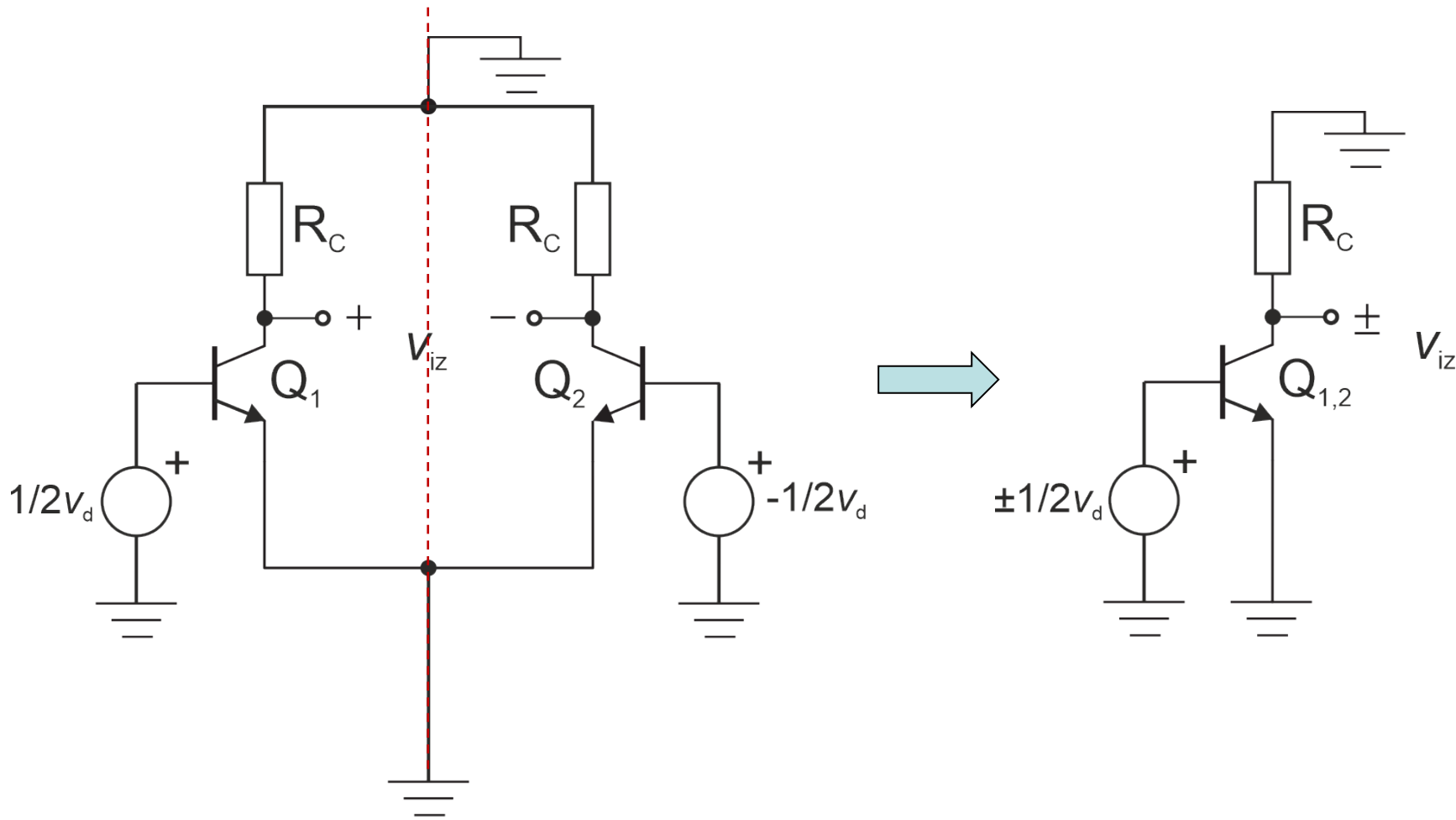
$$V_1 - V_2 \ll 2V_T, \quad A_d = -\frac{R_C I_{EE}}{2V_T}$$

# Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje



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

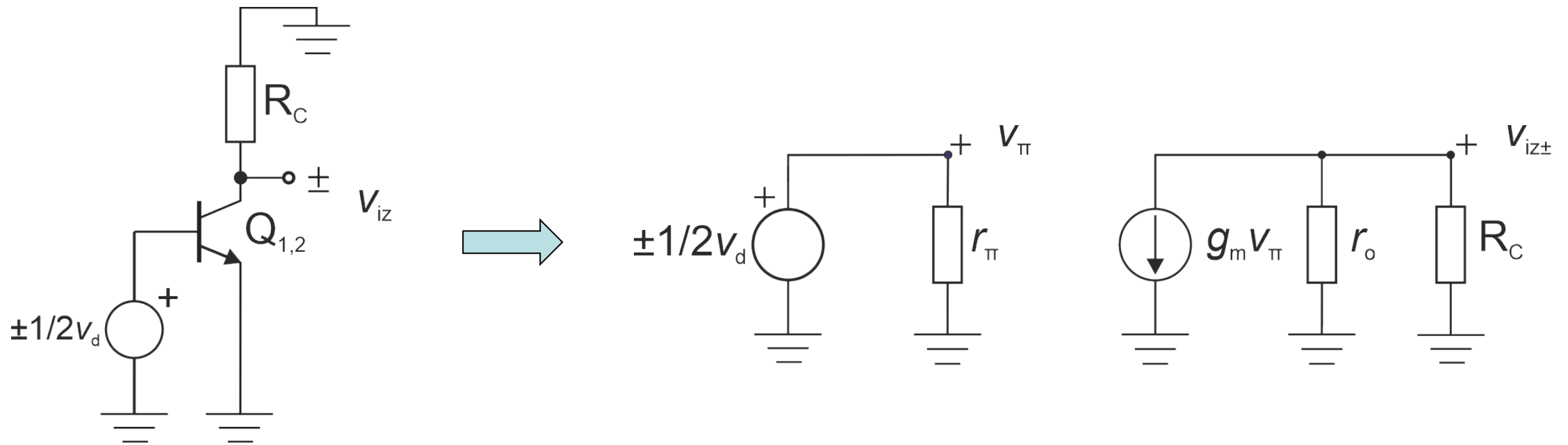
# Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje



- Kolo možemo nezavisno da analiziramo za  $Q_1$  i  $Q_2$ .



# Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje



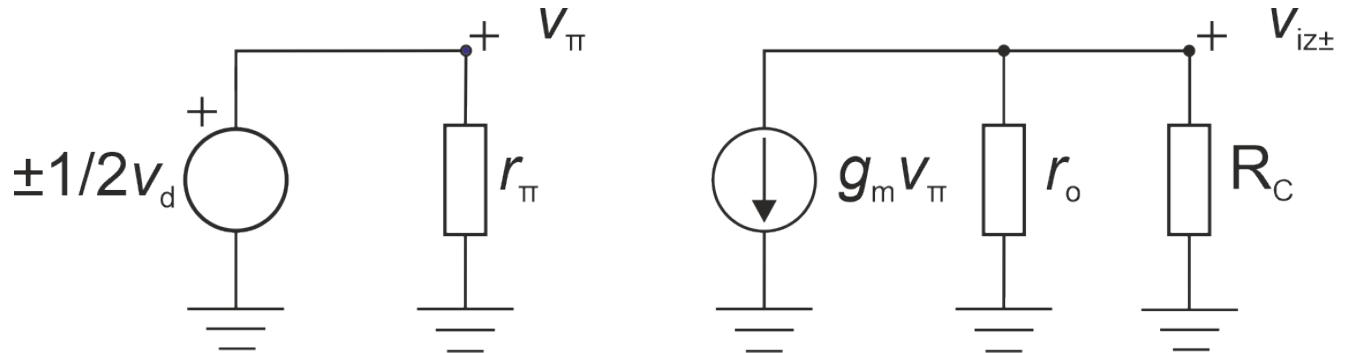
# Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje

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

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

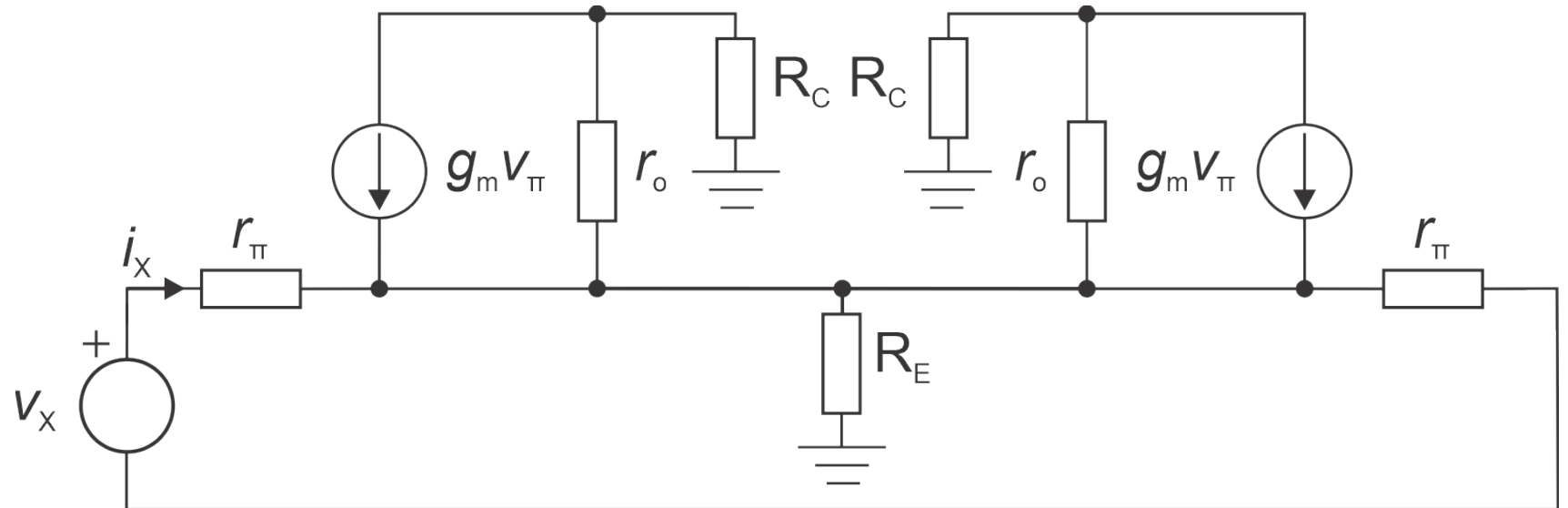
$$v_{iz} = -g_m (r_o \parallel R_C) v_d$$

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



# Diferencijalni pojačavač – impedanse

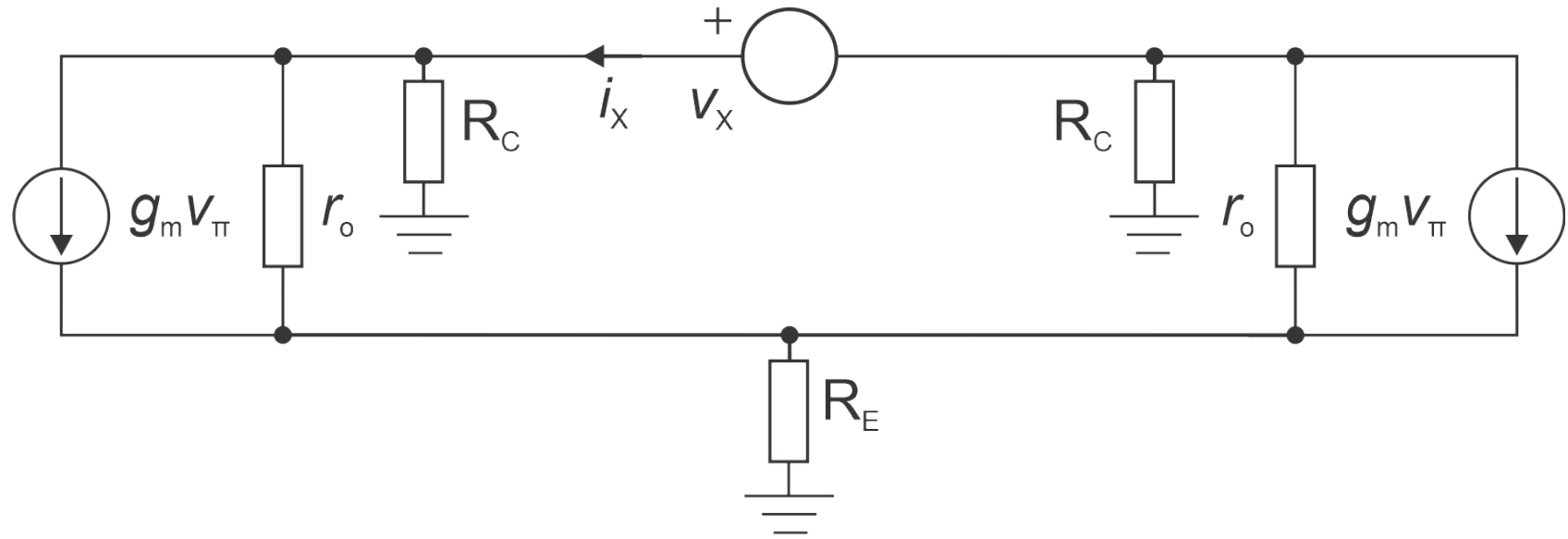
$$R_{ul} = 2r_{\pi}$$



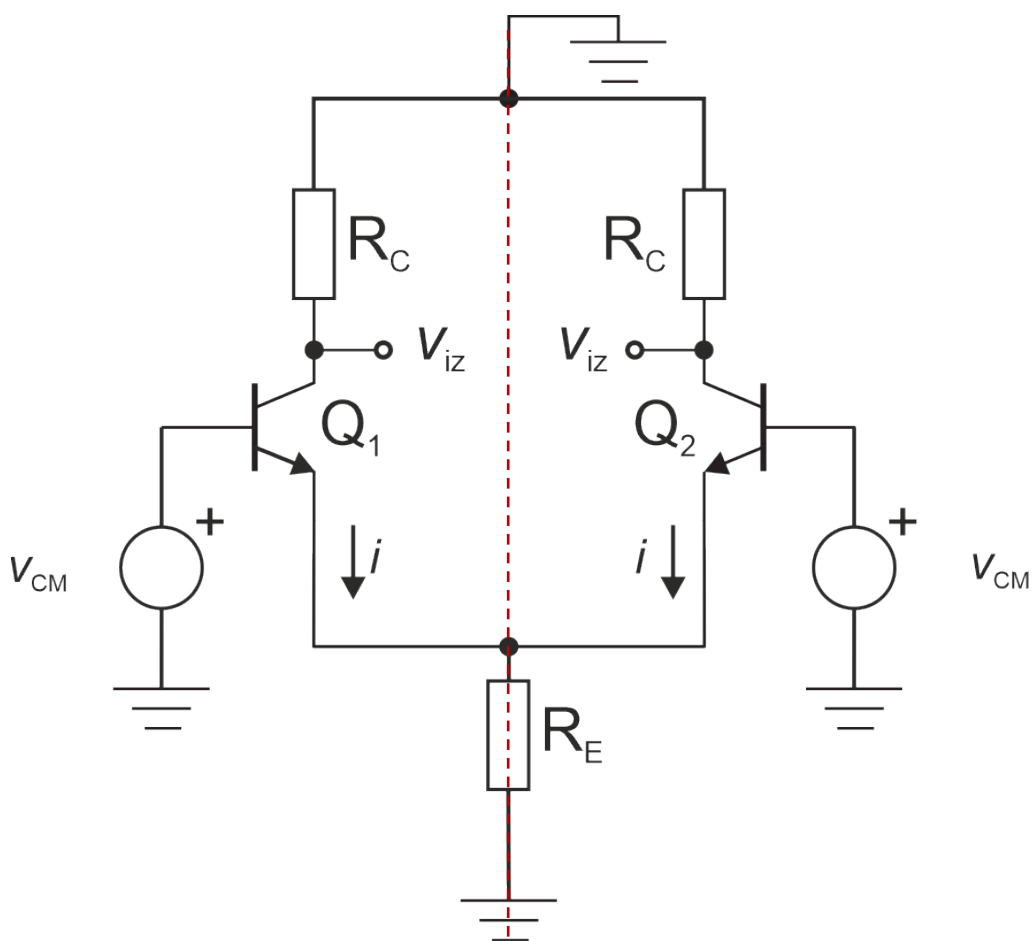
# Diferencijalni pojačavač – impedanse

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

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

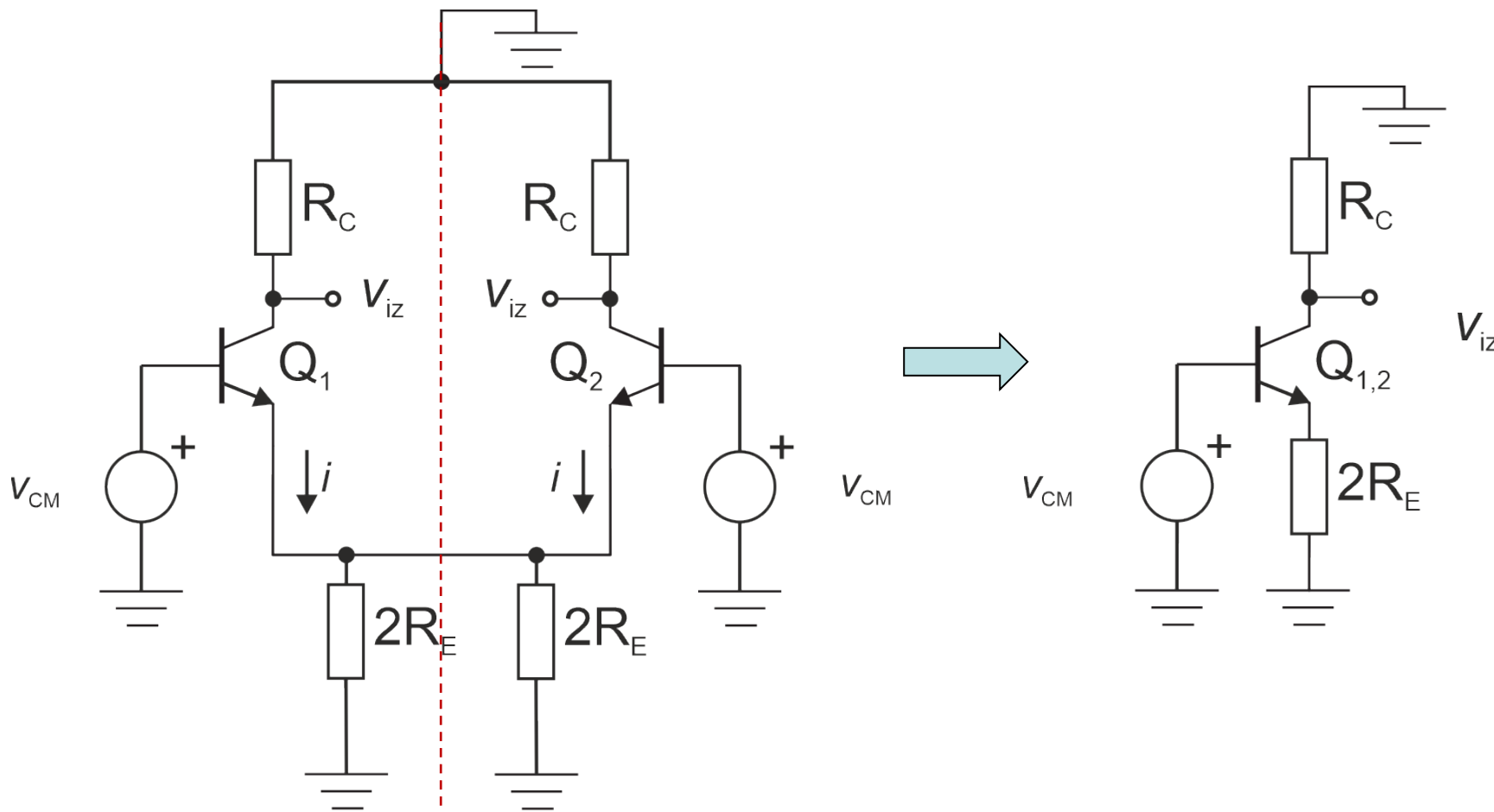


# Diferencijalni pojačavač – srednja vrednost signala



- 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  $Q_2$ .

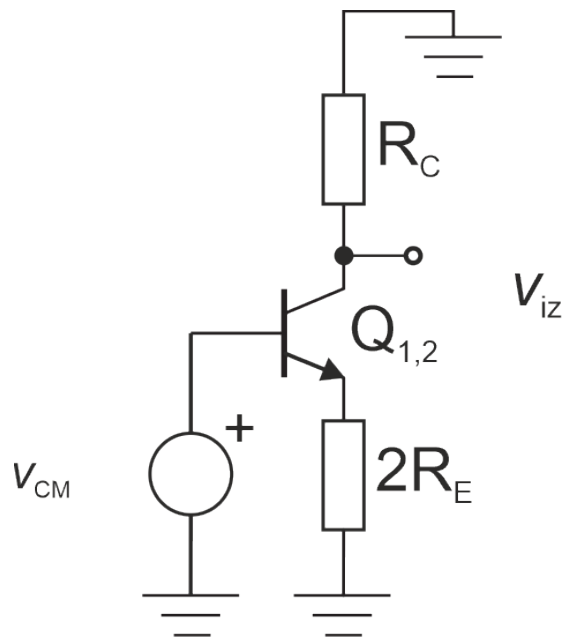
# Diferencijalni pojačavač – srednja vrednost signala



- Kolo možemo nezavisno da analiziramo za  $Q_1$  i  $Q_2$ .

# Diferencijalni pojačavač – srednja vrednost signala

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

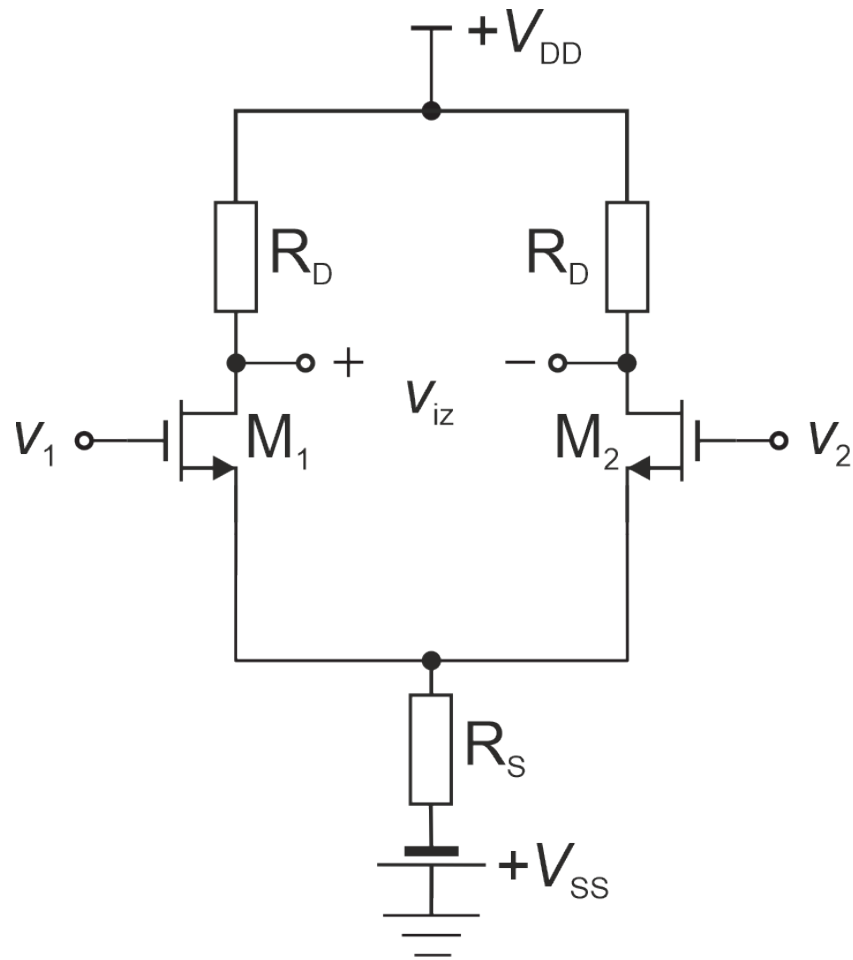


$$v_{iz} = \frac{-g_m R_C}{1 + 2g_m R_E} v_{CM}$$

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

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

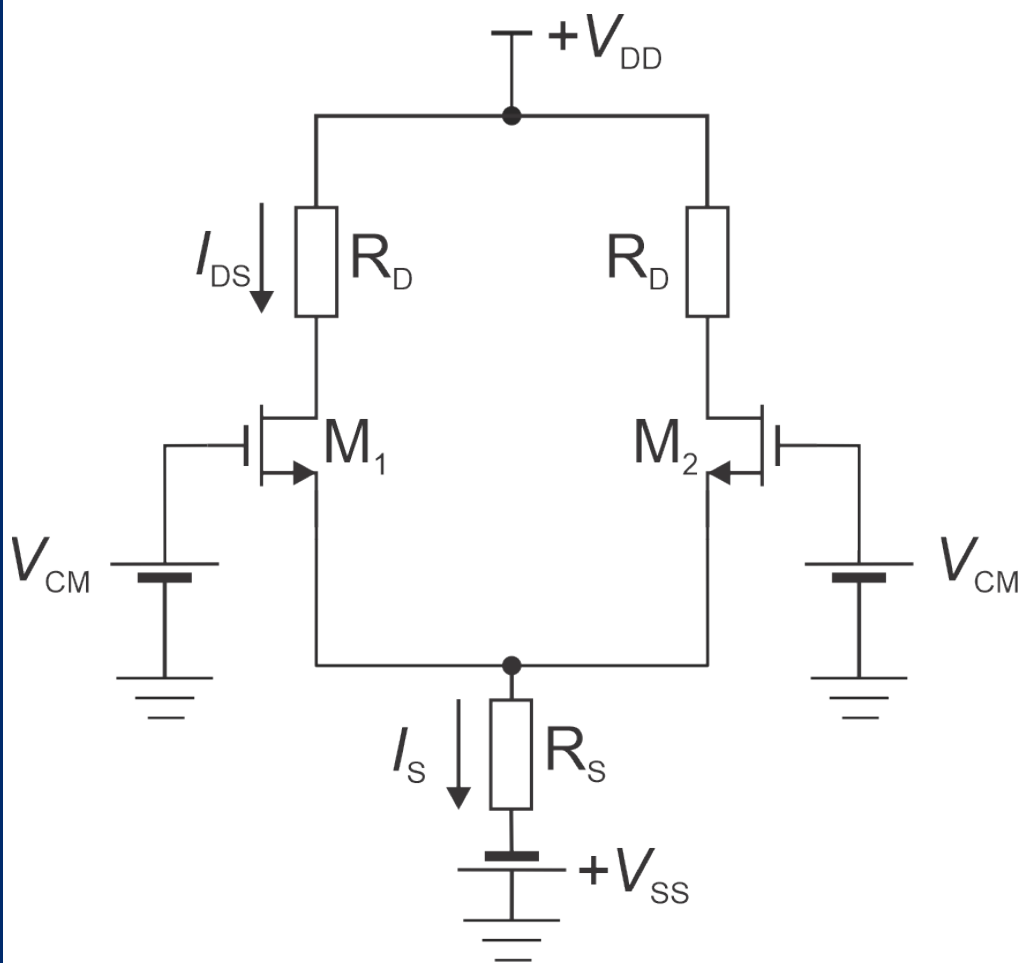
# Diferencijalni pojačavač sa MOS tranzistorima



- Analiza za jednosmerni režim
- Analiza za velike signale
- Analiza za male signale, diferencijalni signal
- Analiza za male signale, srednja vrednost signala



# Diferencijalni pojačavač – jednosmerni režim



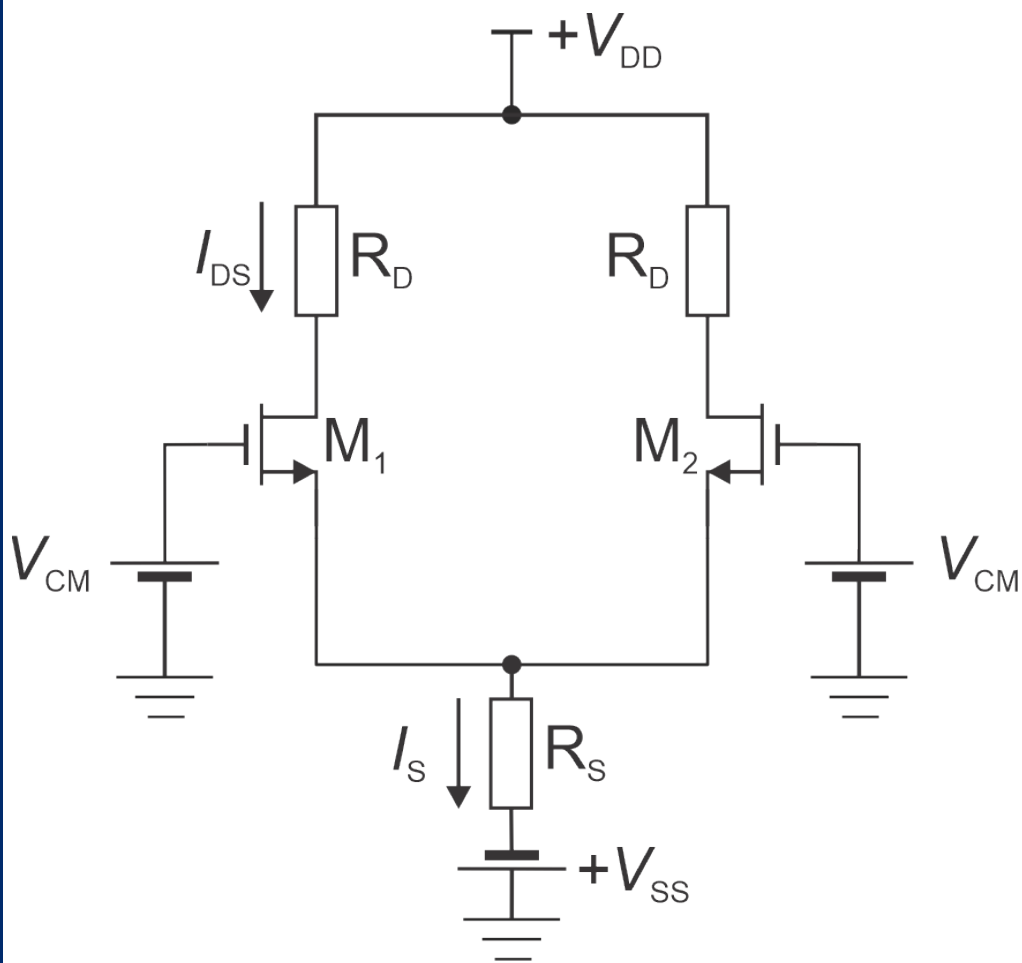
- Jednosmerni režim
- $V_{CM}$  je jednosmerna komponenta napona srednje vrednosti

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

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

$$I_{DS1} = I_{DS2} = I_{DS} = I_{DSS} \left( \frac{V_{GS}}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

# Diferencijalni pojačavač – jednosmerna polarizacija



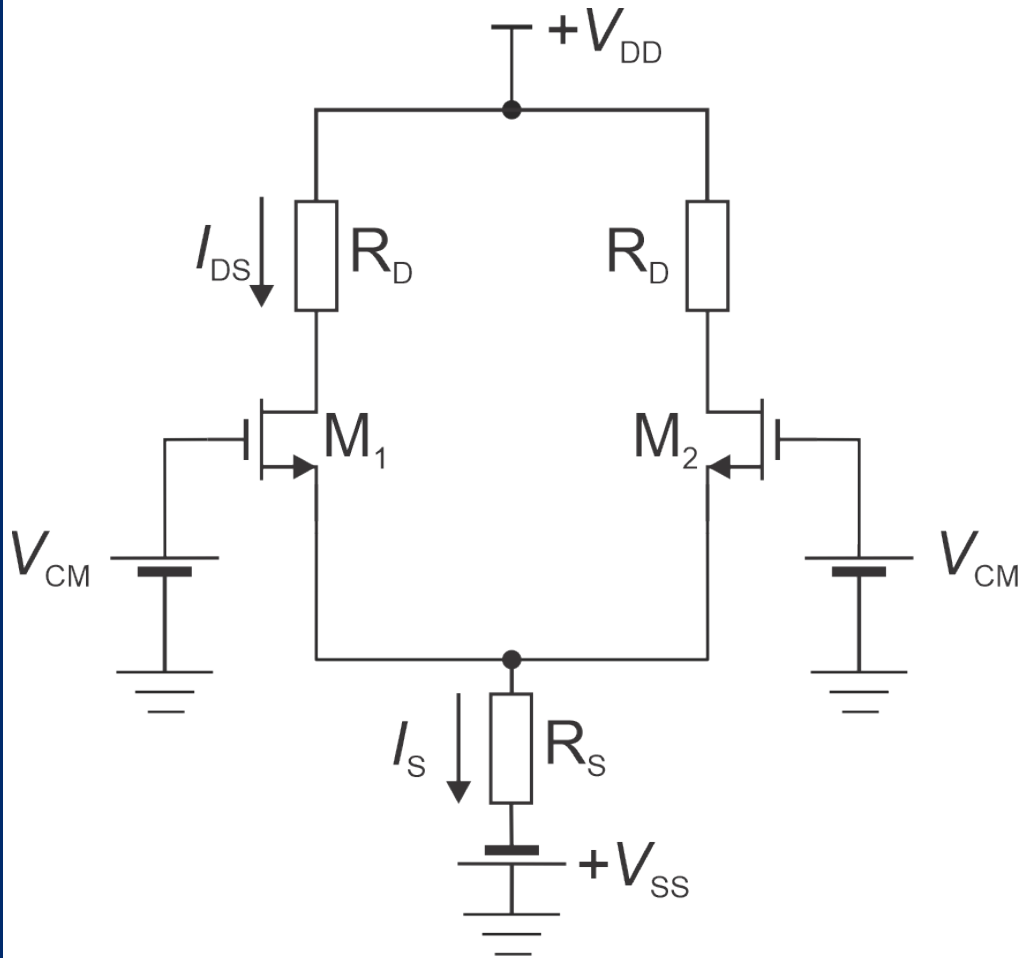
- Kolo je simetrično,  $M_1$  i  $M_2$  su identični,  $R_D$  ima istu otpornost u obe grane drejna

$$I_S = 2I_{DS}$$

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

$$I_{DS} = I_{DSS} \left( \frac{V_{CM} - 2I_{DS}R_S + V_{SS}}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

# Diferencijalni pojačavač – jednosmerna polarizacija

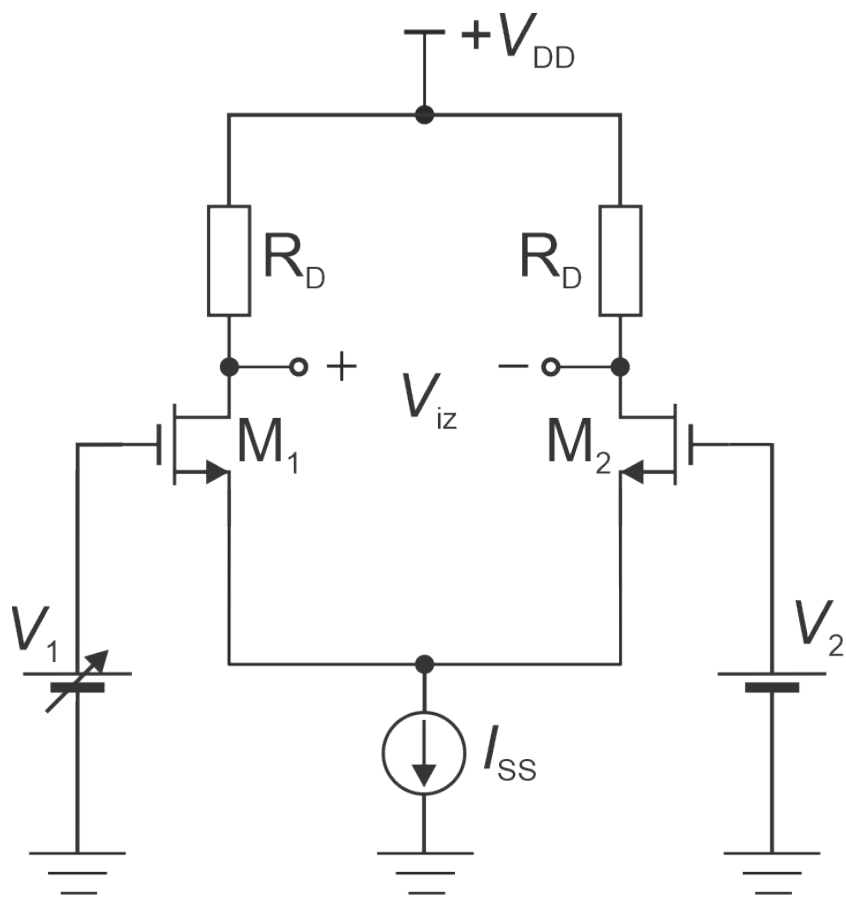


$$V_{D1} = V_{DD} - \frac{1}{2} I_S R_D$$

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

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

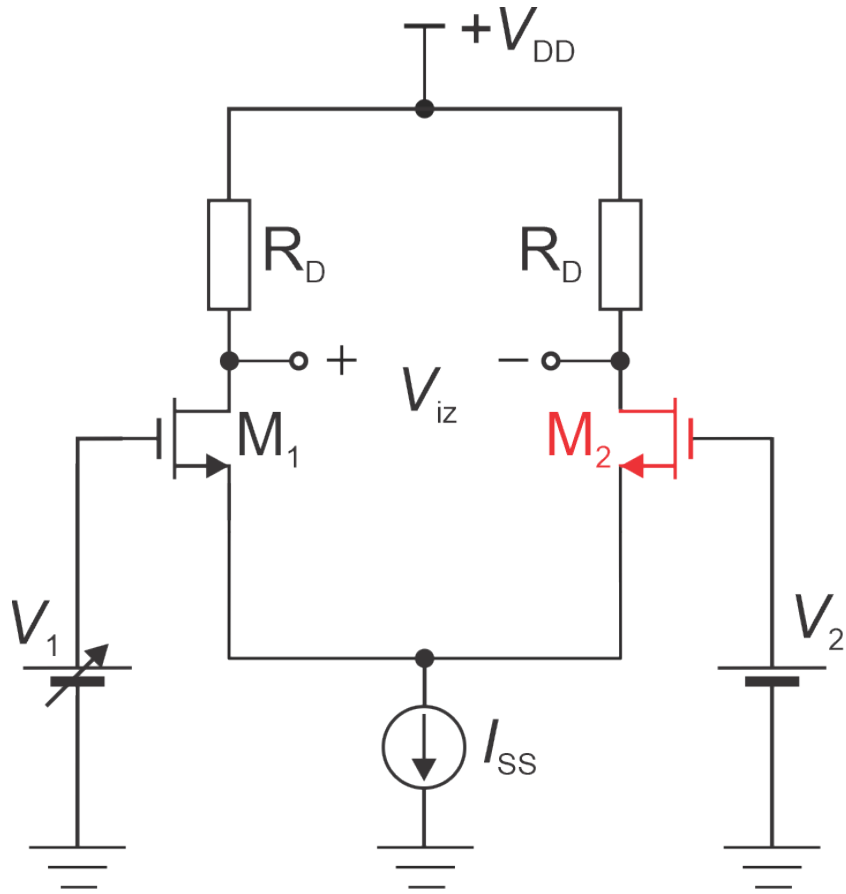
# Diferencijalni pojačavač – veliki signali



- $V_1$  i  $V_2$  su veliki signali,  $V_1 \neq V_2$
- 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

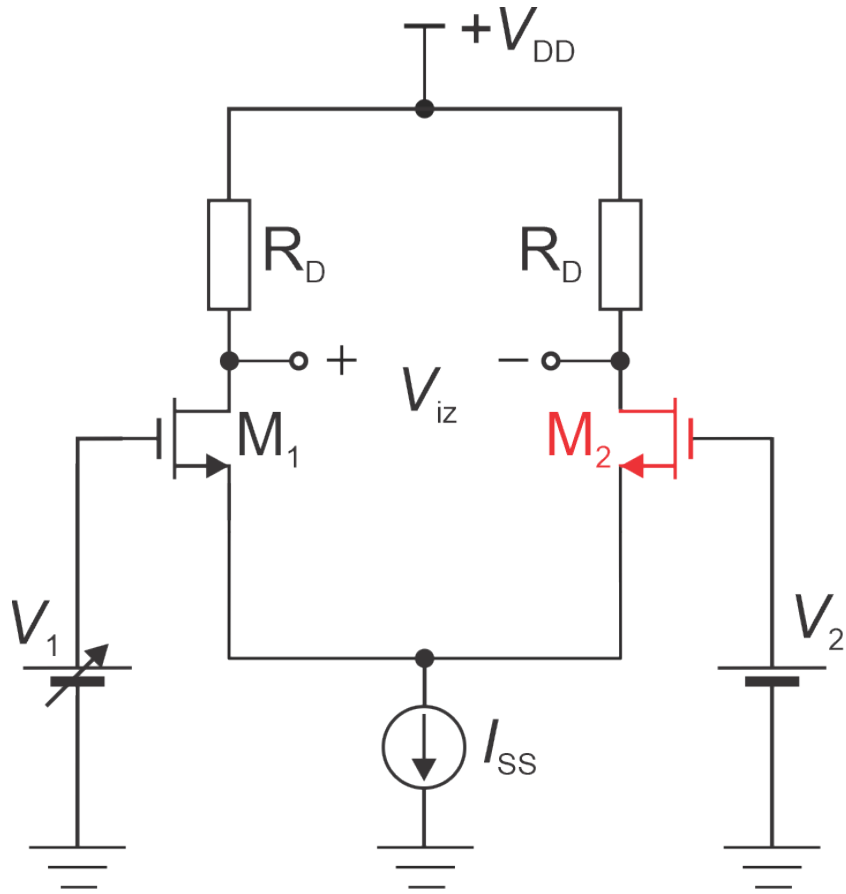
$$V_S = V_1 - V_{GS1}$$

# Diferencijalni pojačavač – veliki signali



- Povećavanjem napona  $V_1$  povećava se struja kanala  $M_1$  i napon  $V_E$ .
- Kada se napon  $V_{GS2}$  smanji na vrednost  $V_{TH}$ , tranzistor  $M_2$ , prestaje da vodi  $I_{DS2}=0$ ,  $I_{DS1}=I_{SS}$

# Diferencijalni pojačavač – veliki signali



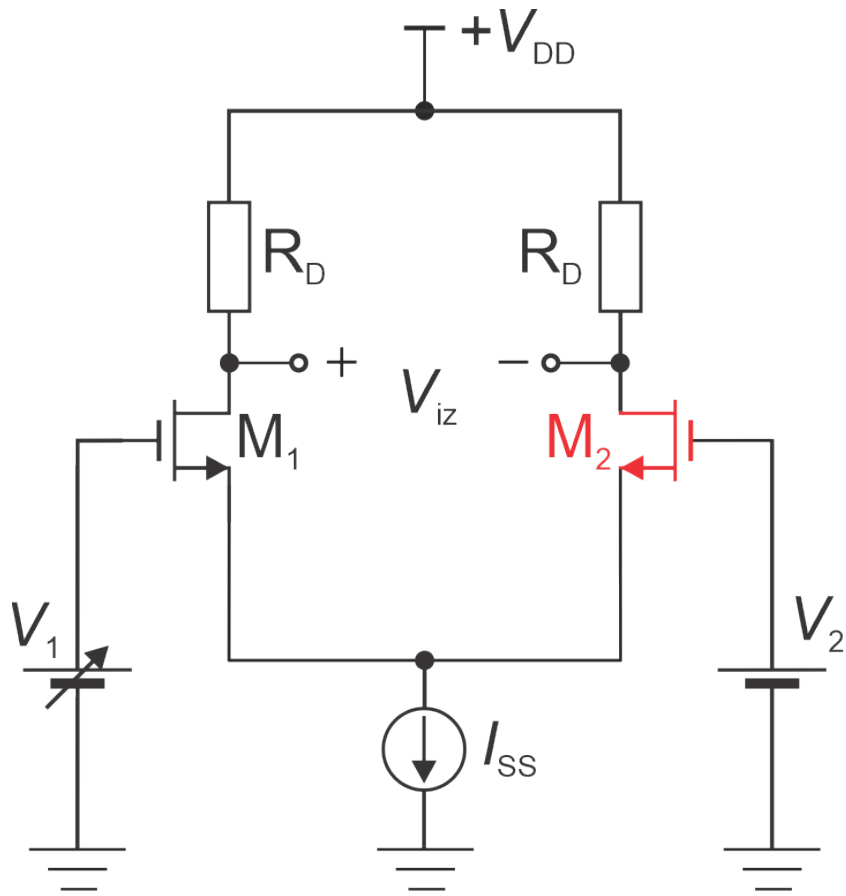
- U ovom slučaju imamo:

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

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

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

# Diferencijalni pojačavač – veliki signali



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

$$I_{DS1} = I_{DSS} \left( \frac{V_{GS1}}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

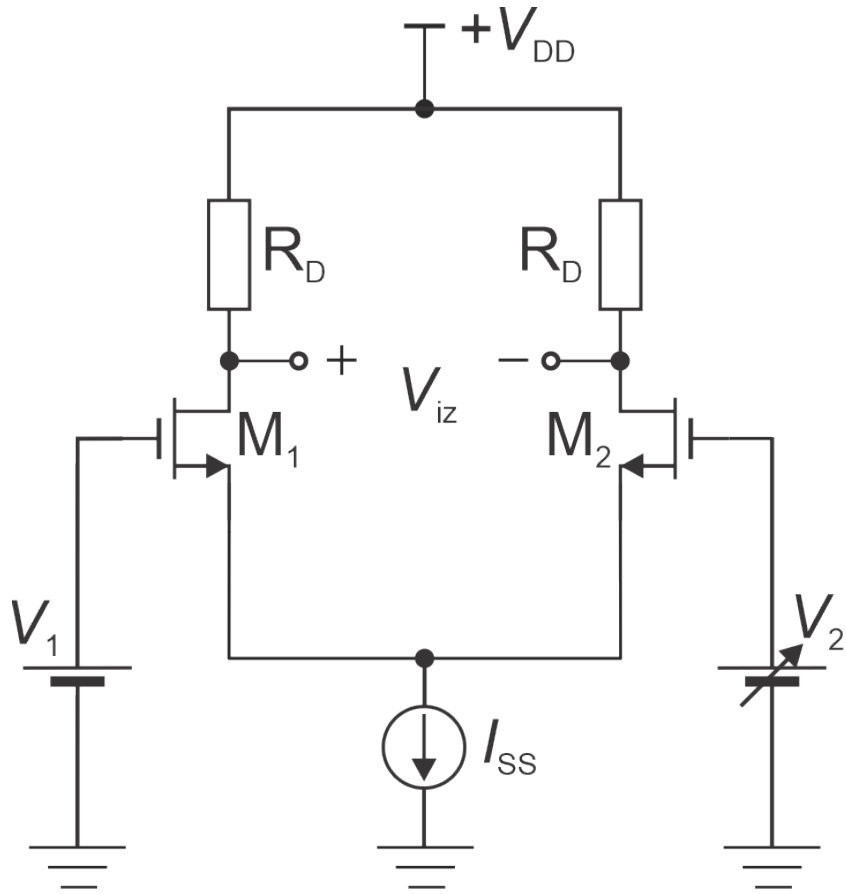
$$V_{GS1} = V_{TH} \cdot \sqrt{\frac{I_{DS1}}{I_{DSS}}} + V_{TH} = V_{TH} \cdot \sqrt{\frac{I_{SS}}{I_{DSS}}} + V_{TH}$$

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





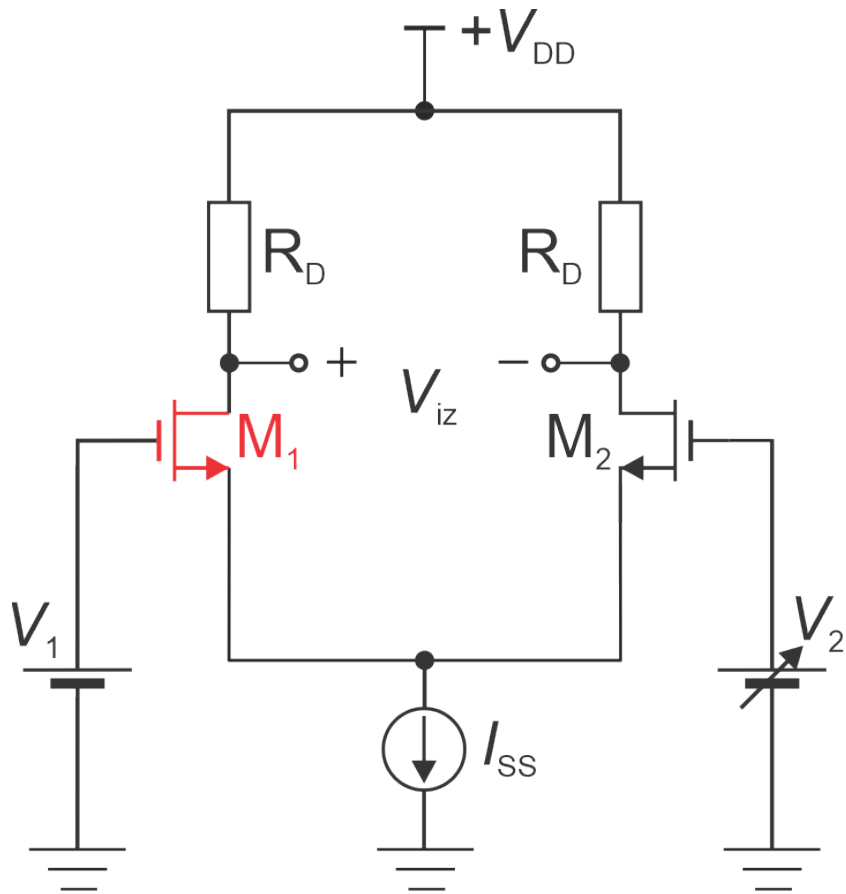
# Diferencijalni pojačavač – veliki signali



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

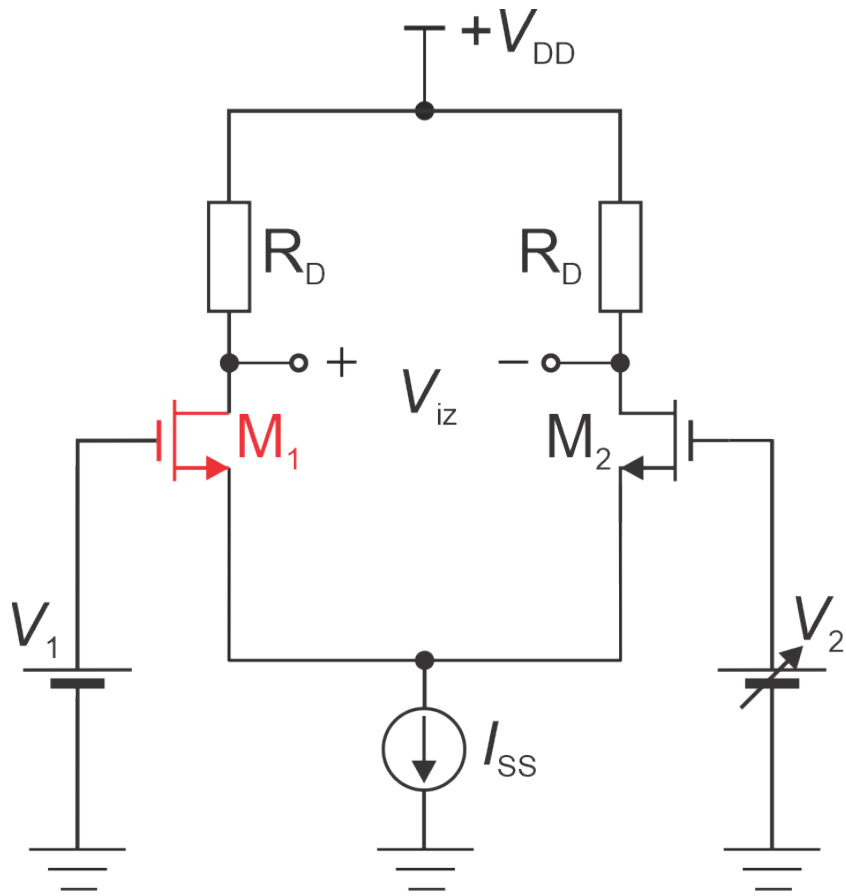
$$V_S = V_2 - V_{GS2}$$

# 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  $I_{DS1}=0$ ,  $I_{DS2}=I_{SS}$

# Diferencijalni pojačavač – veliki signali



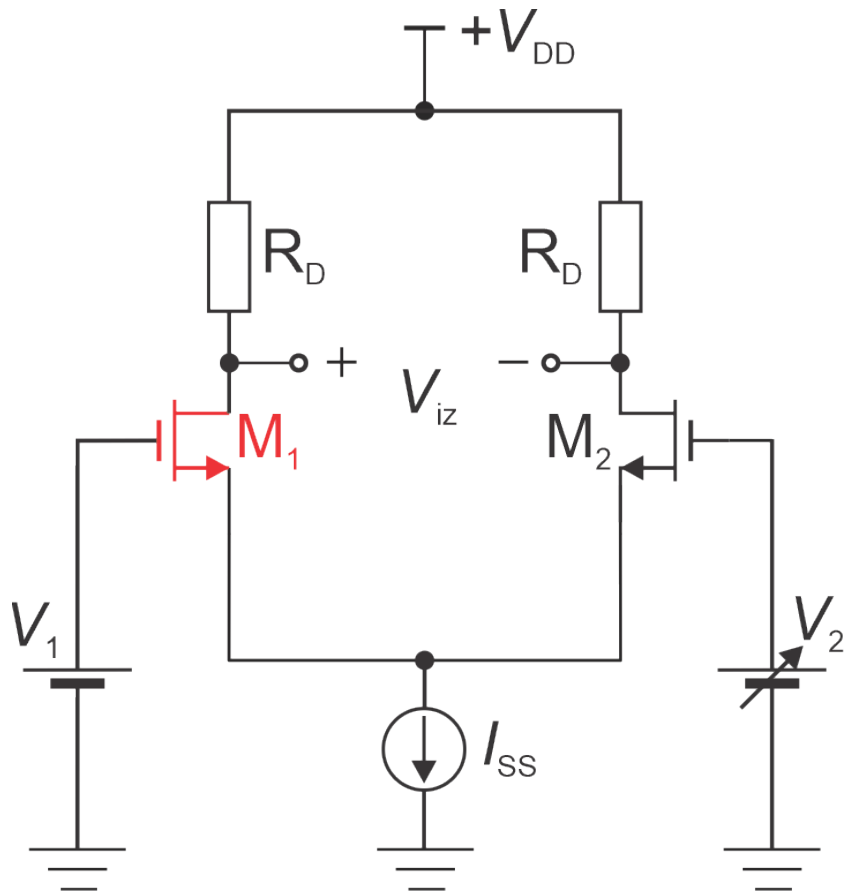
- U ovom slučaju imamo:

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

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

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

# Diferencijalni pojačavač – veliki signali



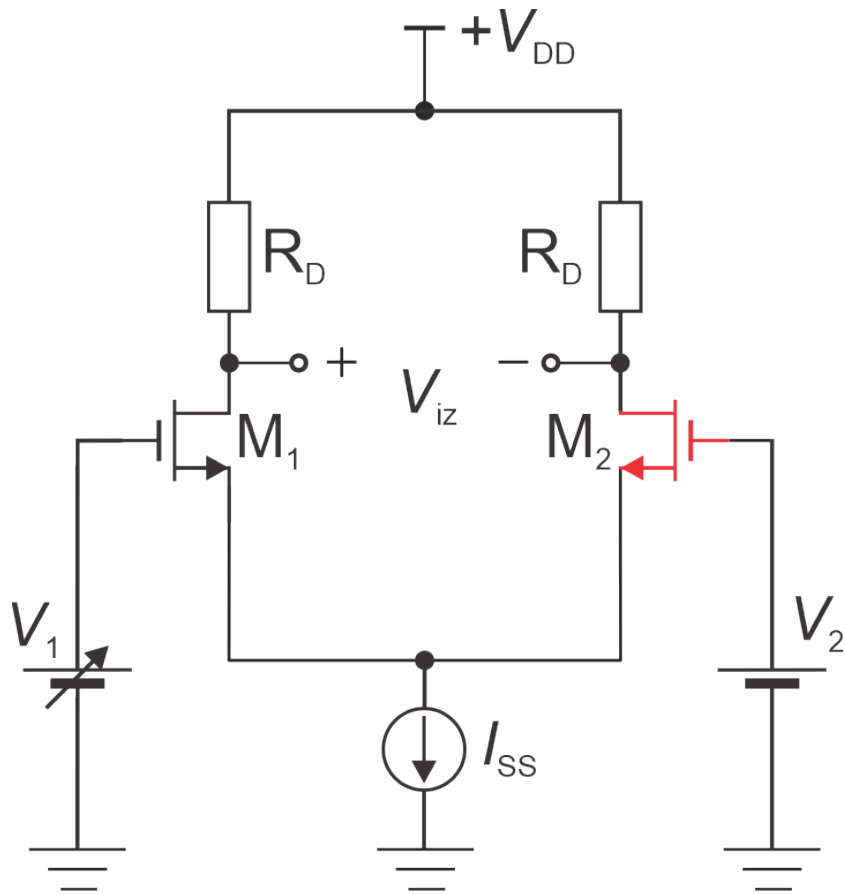
$$I_{DS1} = 0, \quad I_{DS2} = I_{SS}$$

$$I_{DS2} = I_{DSS} \left( \frac{V_{GS2}}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

$$V_{GS2} = V_{TH} \cdot \sqrt{\frac{I_{DS2}}{I_{DSS}}} + V_{TH} = V_{TH} \cdot \sqrt{\frac{I_{SS}}{I_{DSS}}} + V_{TH}$$

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

# Diferencijalni pojačavač – veliki signali

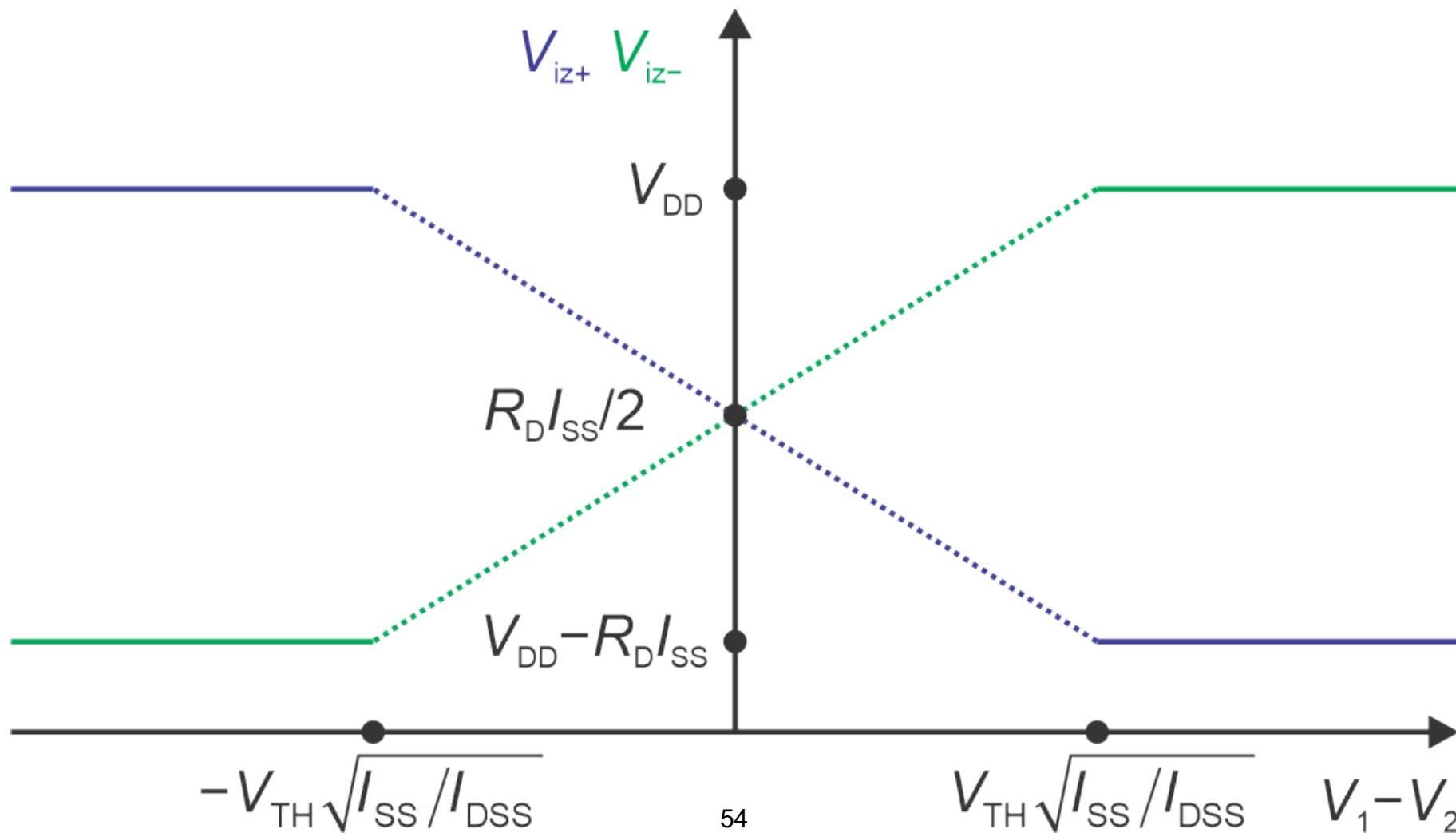


$$I_{DS1} = 0, \quad I_{DS2} = I_{SS}$$

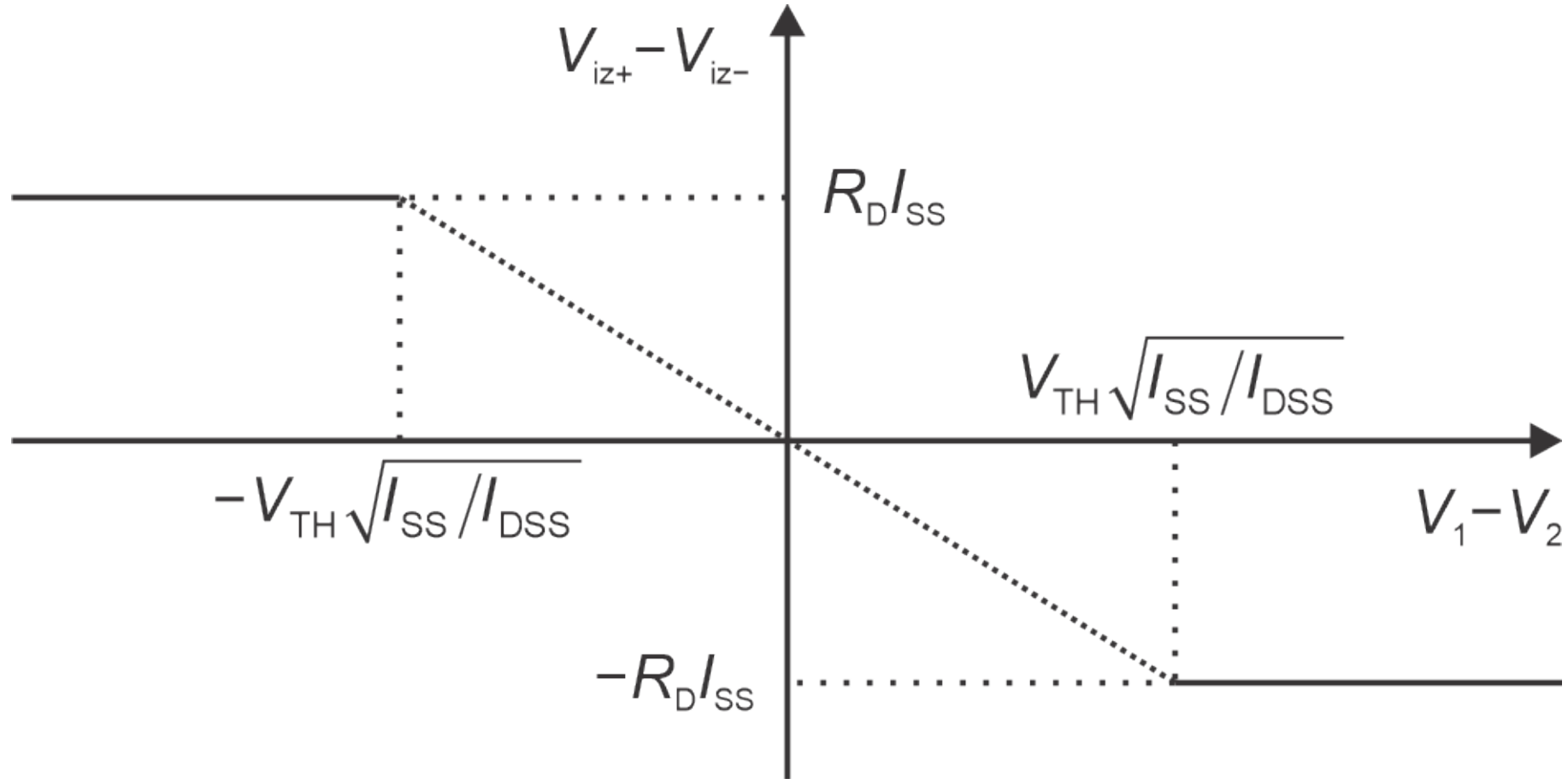
$$V_{iz+} = V_{DD}$$

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

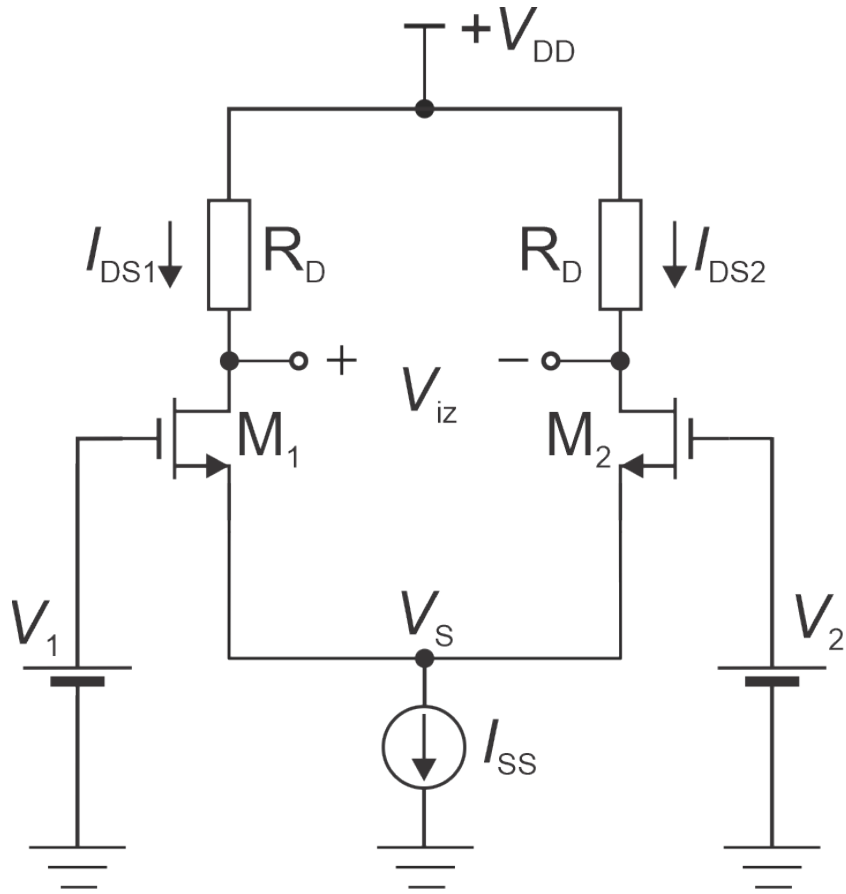
# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



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

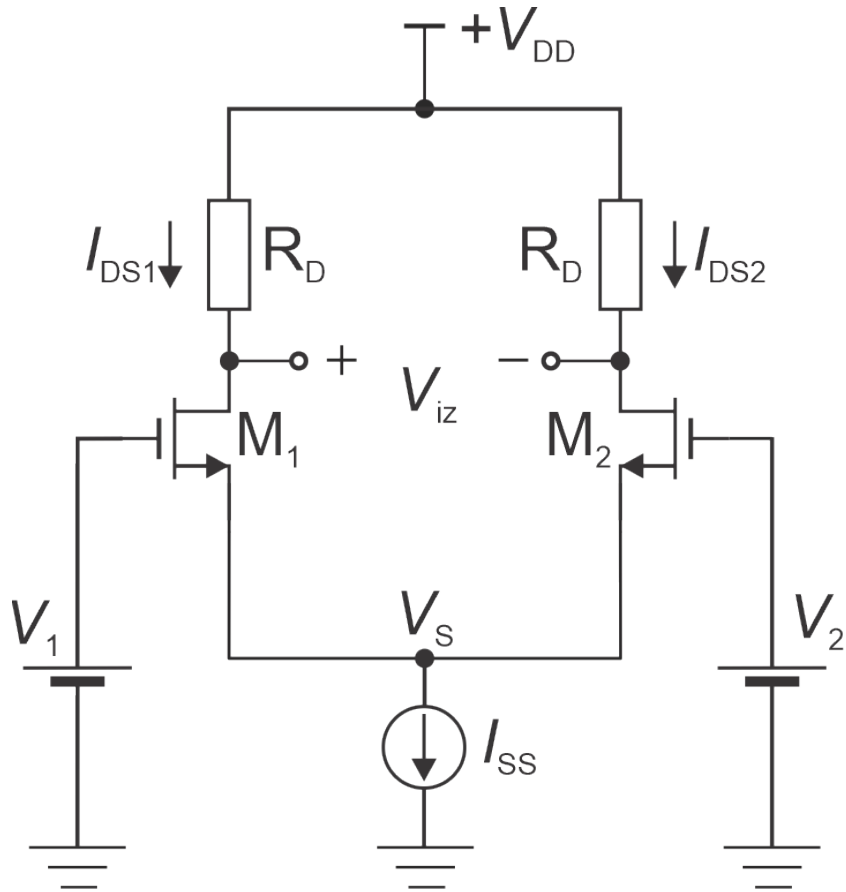
$$V_1 - V_2 = V_{GS1} - V_{GS2}$$

$$I_{DS1} = I_{DSS} \left( \frac{V_{GS1}}{V_{TH}} - 1 \right)^2, \quad I_{DS2} = I_{DSS} \left( \frac{V_{GS2}}{V_{TH}} - 1 \right)^2$$

$$V_{GS1} = V_{TH} \sqrt{\frac{I_{DS1}}{I_{DSS}}} + V_{TH}, \quad V_{GS2} = V_{TH} \sqrt{\frac{I_{DS2}}{I_{DSS}}} + V_{TH}$$



# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

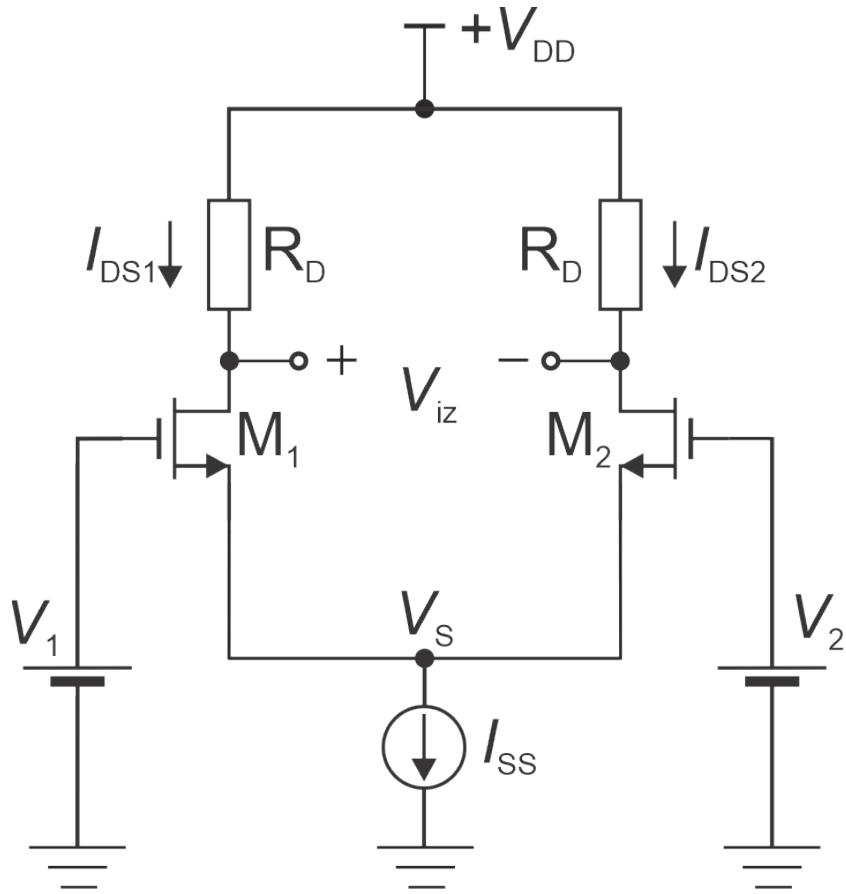


$$\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} = \sqrt{\frac{I_{DS1}}{I_{DSS}}} - \sqrt{\frac{I_{DS2}}{I_{DSS}}}$$

$$\left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}}\right)^2 \cdot I_{DSS} = I_{DS1} + I_{DS2} - 2\sqrt{I_{DS1} \cdot I_{DS2}}$$

$$2\sqrt{I_{DS1} \cdot I_{DS2}} = I_{SS} - \left(\frac{V_1 - V_2}{V_{TH}}\right)^2 \cdot I_{DSS}$$

# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

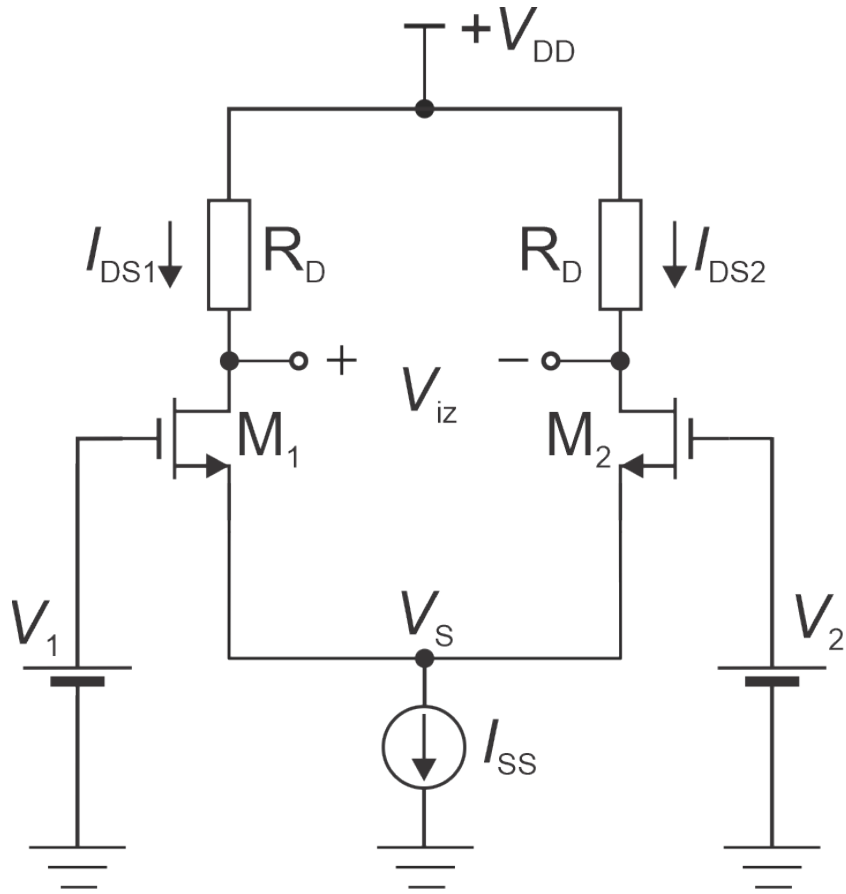


$$2\sqrt{I_{DS1} \cdot I_{DS2}} = I_{SS} - \left( \frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DSS}$$

$$I_{DS1} \cdot I_{DS2} = \frac{1}{4} \left( I_{SS} - \left( \frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DSS} \right)^2$$

$$I_{DS1} \cdot (I_{SS} - I_{DS1}) = \frac{1}{4} \left( I_{SS} - \left( \frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DSS} \right)^2$$

# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

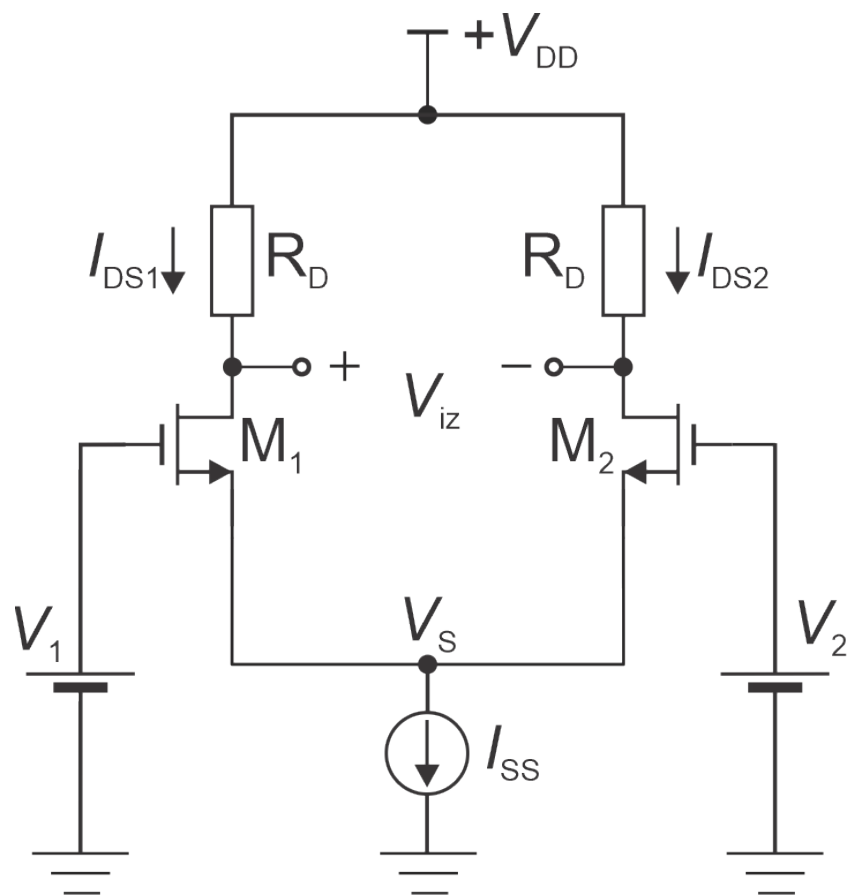


$$I_{DS1} I_{SS} - I_{DS1}^2 = \frac{1}{4} \left( I_{SS} - \left( \frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DSS} \right)^2$$

$$I_{DS1} = \frac{I_{SS} \pm \sqrt{I_{SS}^2 - \left( I_{SS} - \left( \frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DSS} \right)^2}}{2}$$

$$I_{DS1} = \frac{I_{SS}}{2} \pm \sqrt{\left( \frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 I_{SS} I_{DSS} - \frac{1}{4} \left( \frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^4 \cdot I_{DSS}^2}$$

# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

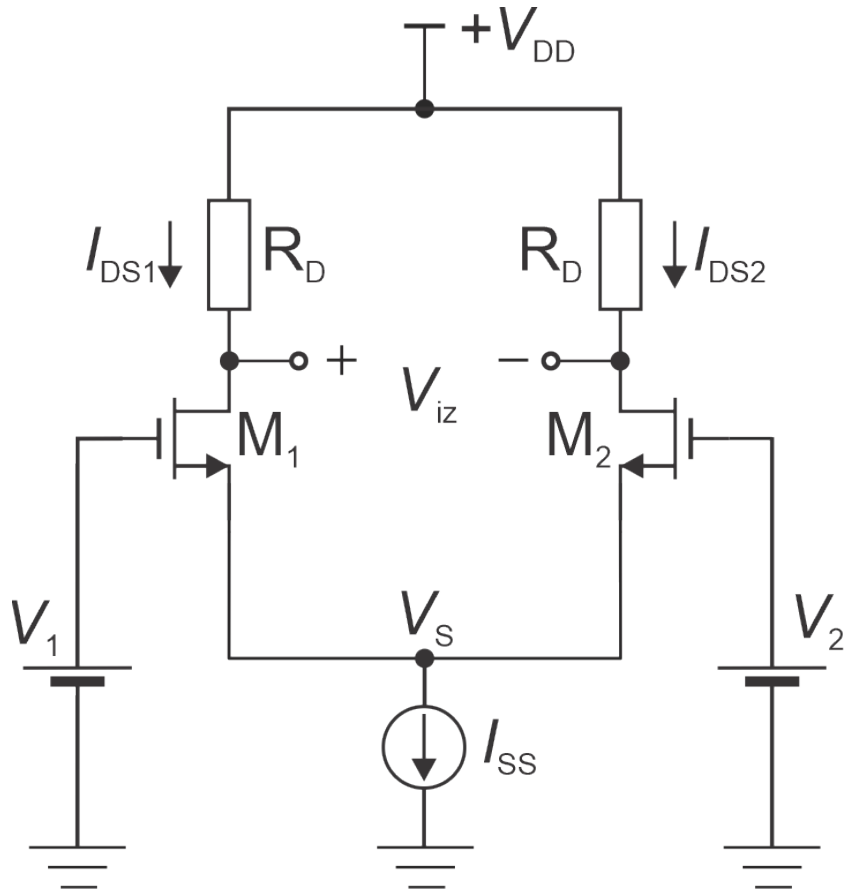


$$I_{DS1} = \frac{I_{SS}}{2} + \left( \frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right) \sqrt{I_{SS} I_{DSS} - \frac{1}{4} \left( \frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DSS}^2}$$

$$I_{DS2} = \frac{I_{SS}}{2} + \left( \frac{V_2 - V_1}{V_{TH}} \right) \sqrt{I_{SS} I_{DSS} - \frac{1}{4} \left( \frac{V_2 - V_1}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DSS}^2}$$

$$I_{DS1} - I_{DS2} = \left( \frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right) \sqrt{4 I_{SS} I_{DSS} - \left( \frac{V_1 - V_2}{V_{TH}} \right)^2 \cdot I_{DSS}^2}$$

# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

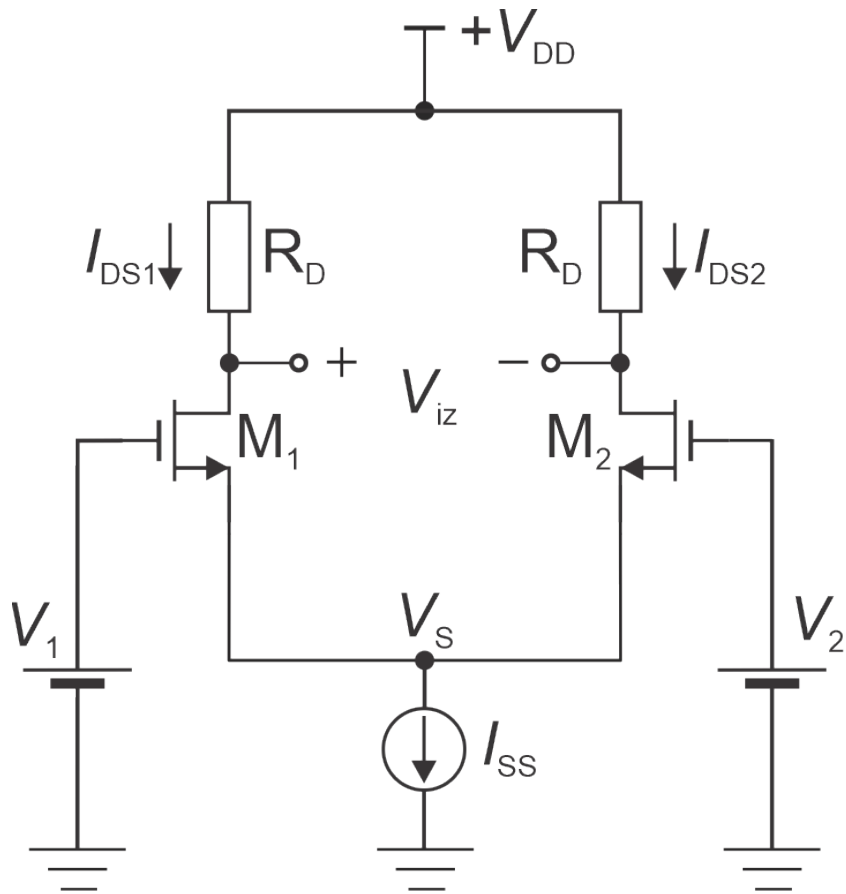


$$I_{DS1} - I_{DS2} = \frac{I_{DSS}}{V_{TH}^2} (V_1 - V_2) \sqrt{\frac{4I_{SS}V_{TH}^2}{I_{DSS}} - (V_1 - V_2)^2}$$

$$V_{iz+} - V_{iz-} = -R_D (I_{DS1} - I_{DS2})$$

$$V_{iz+} - V_{iz-} = -\frac{R_D I_{DSS}}{V_{TH}^2} (V_1 - V_2) \sqrt{\frac{4I_{SS}V_{TH}^2}{I_{DSS}} - (V_1 - V_2)^2}$$

# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika

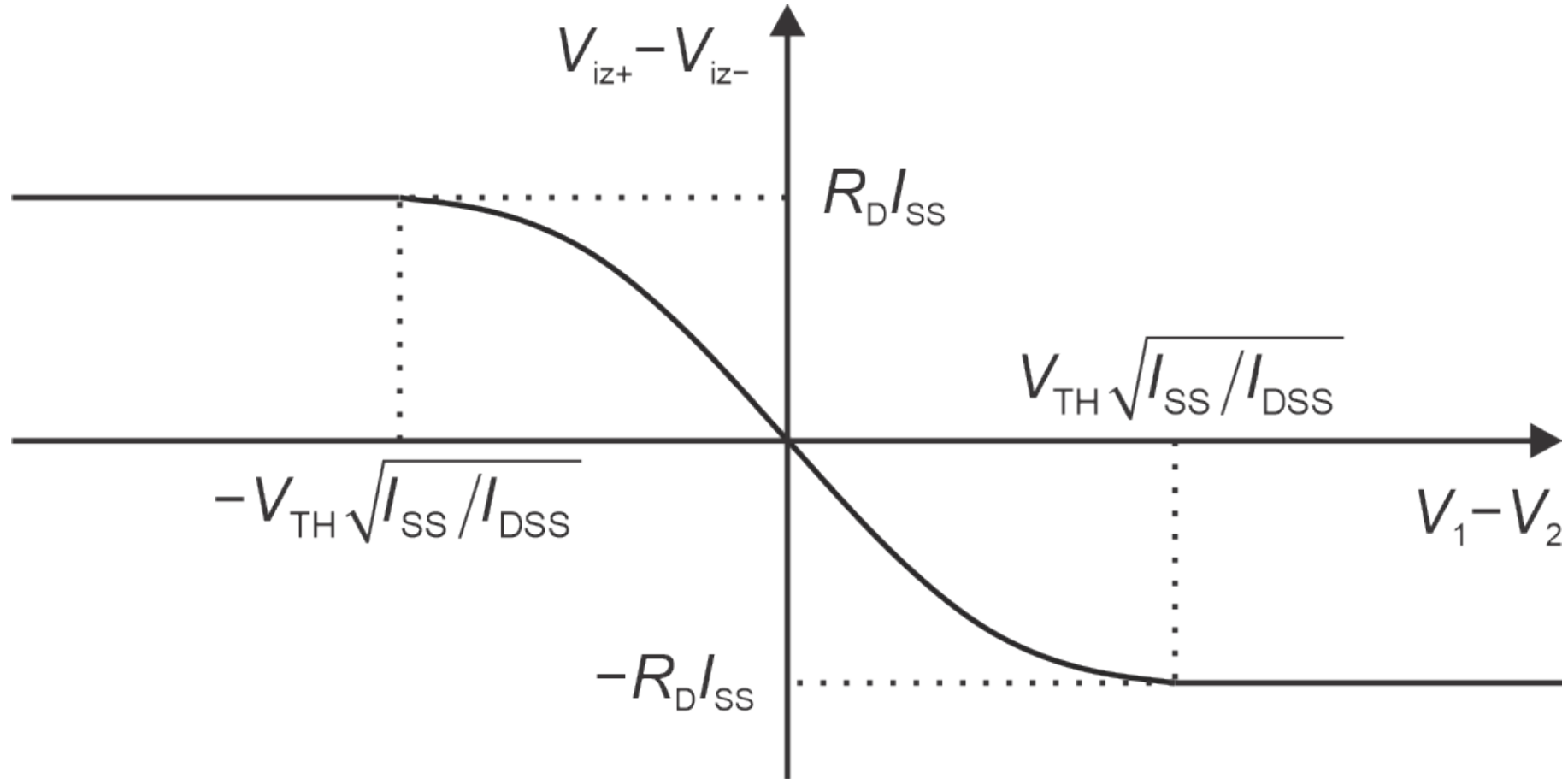


- Za  $V_1 - V_2 \ll V_{TH}$ , možemo da zanemarimo kvadratni član ispod korena

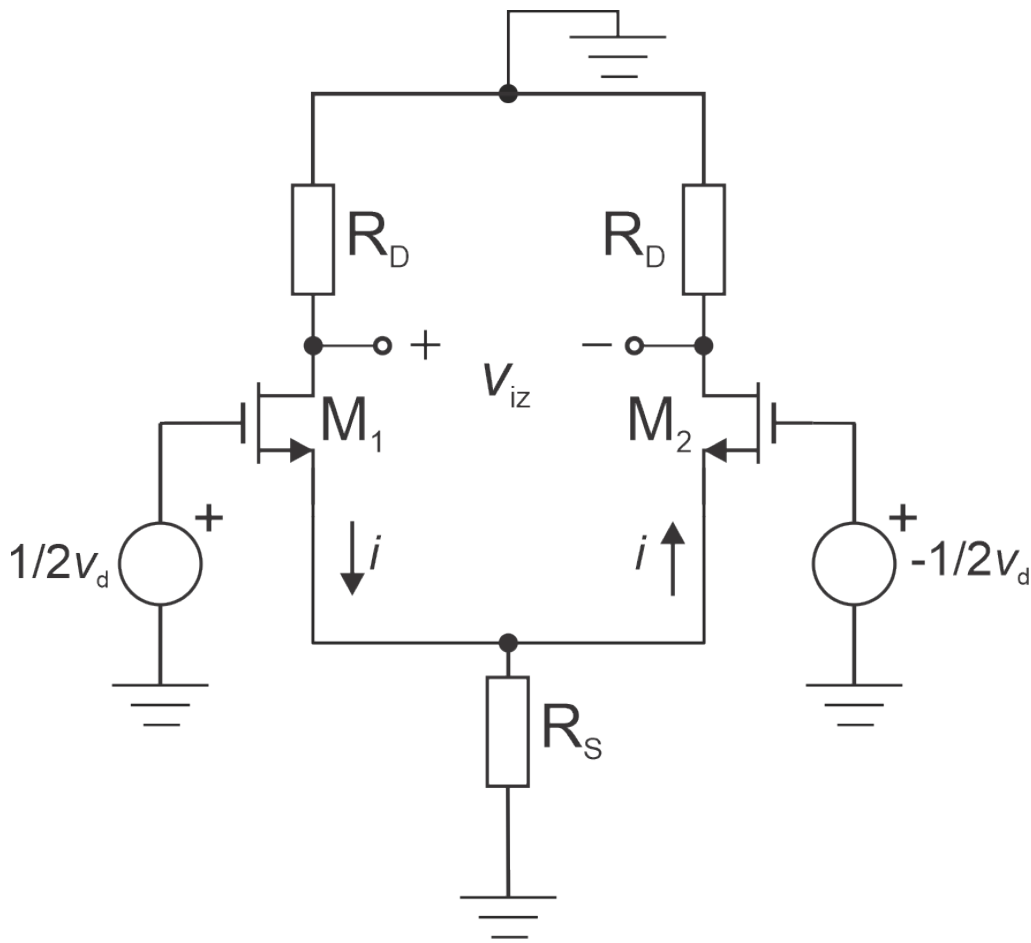
$$V_{iz+} - V_{iz-} = -\frac{2R_D \sqrt{I_{SS} I_{DSS}}}{V_{TH}} (V_1 - V_2)$$

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

# Diferencijalni pojačavač – prenosna karakteristika



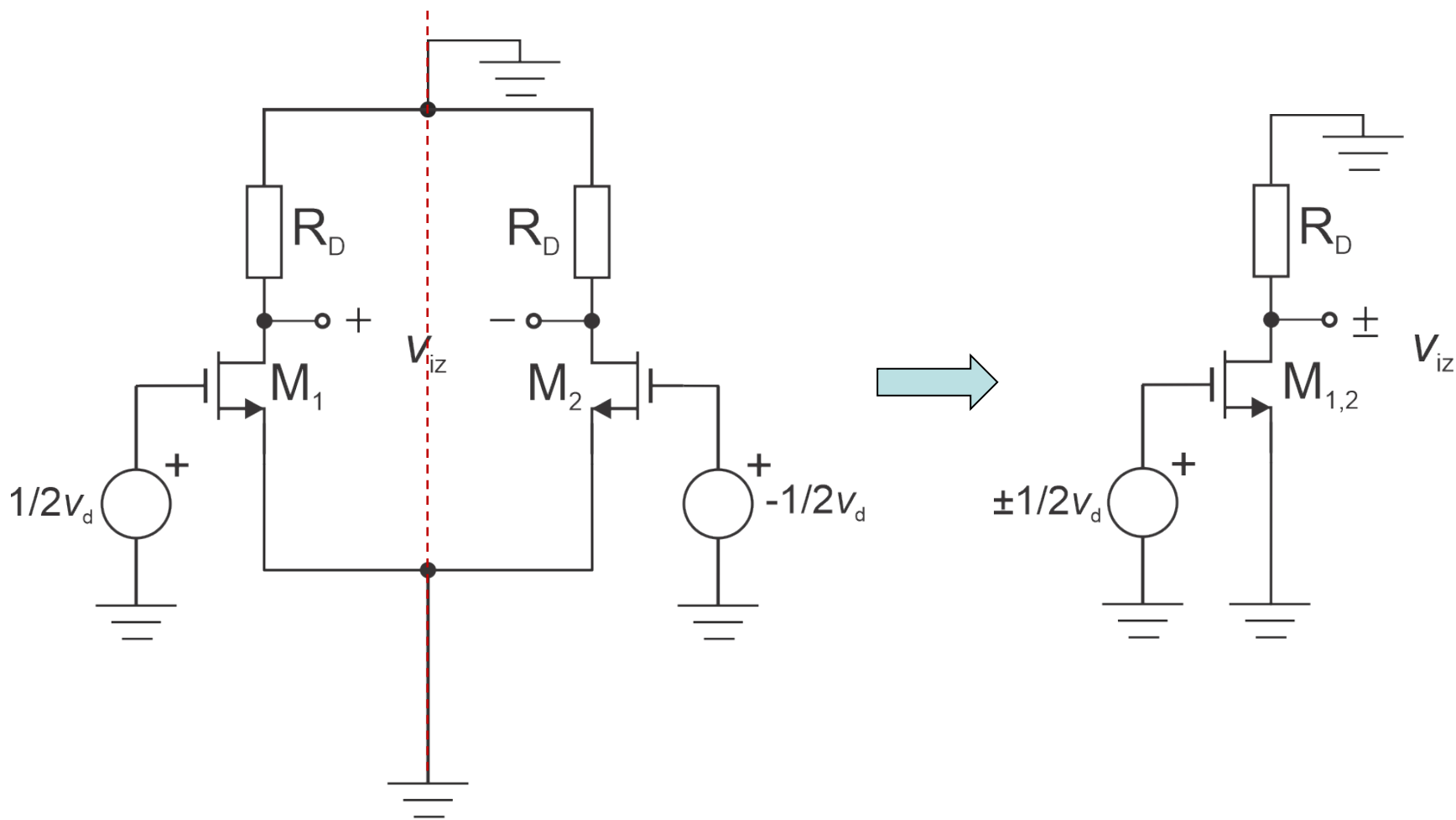
# Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje



- Analiza za diferencijalni napon
- Emitorske struje tranzistora  $M_1$  i  $M_2$  su jednake po amplitudi ali u protivfazi
- Kroz otpornik  $R_S$  ne protiče struja, sors  $M_1$  i  $M_2$  je na potencijalu mase

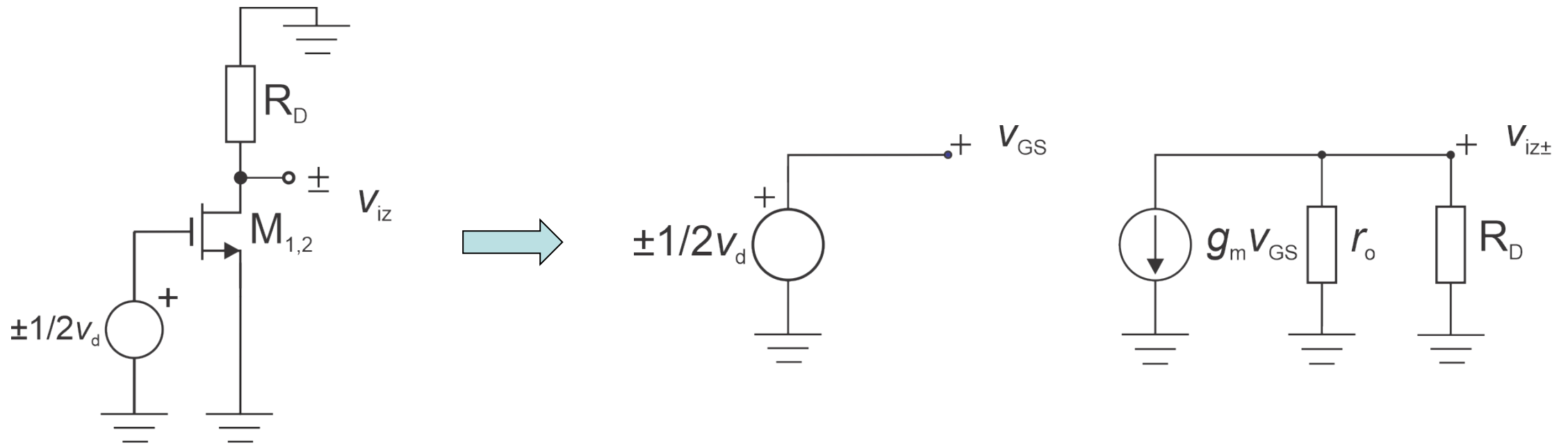


# Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje



- Kolo možemo nezavisno da analiziramo za  $M_1$  i  $M_2$ .

# Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje



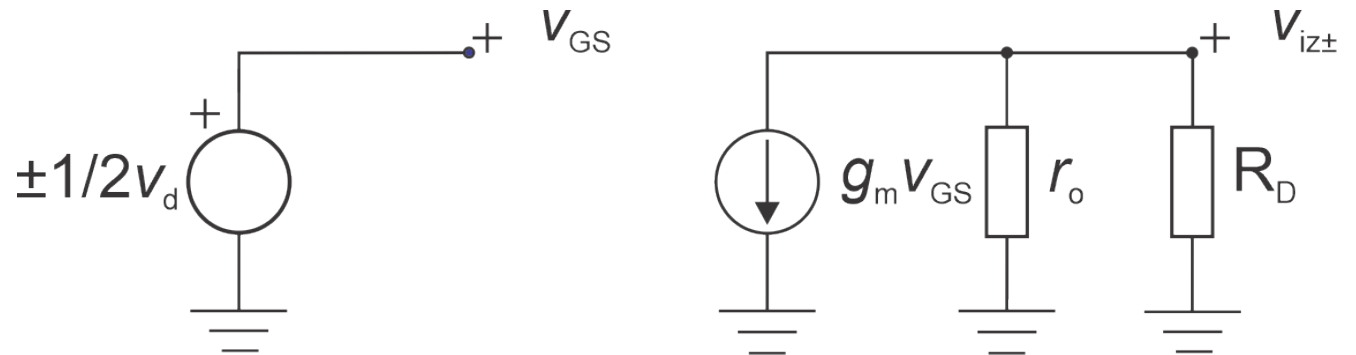
# Diferencijalni pojačavač – diferencijalno pojačanje

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

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

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

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

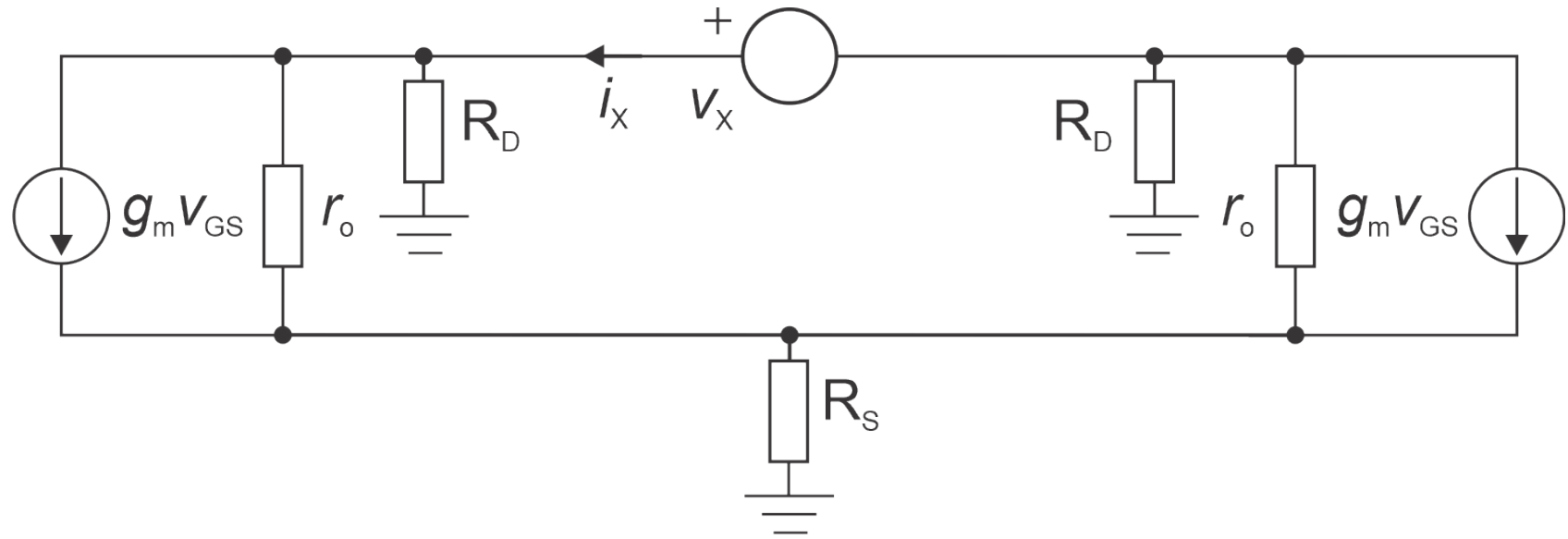


# Diferencijalni pojačavač – impedanse

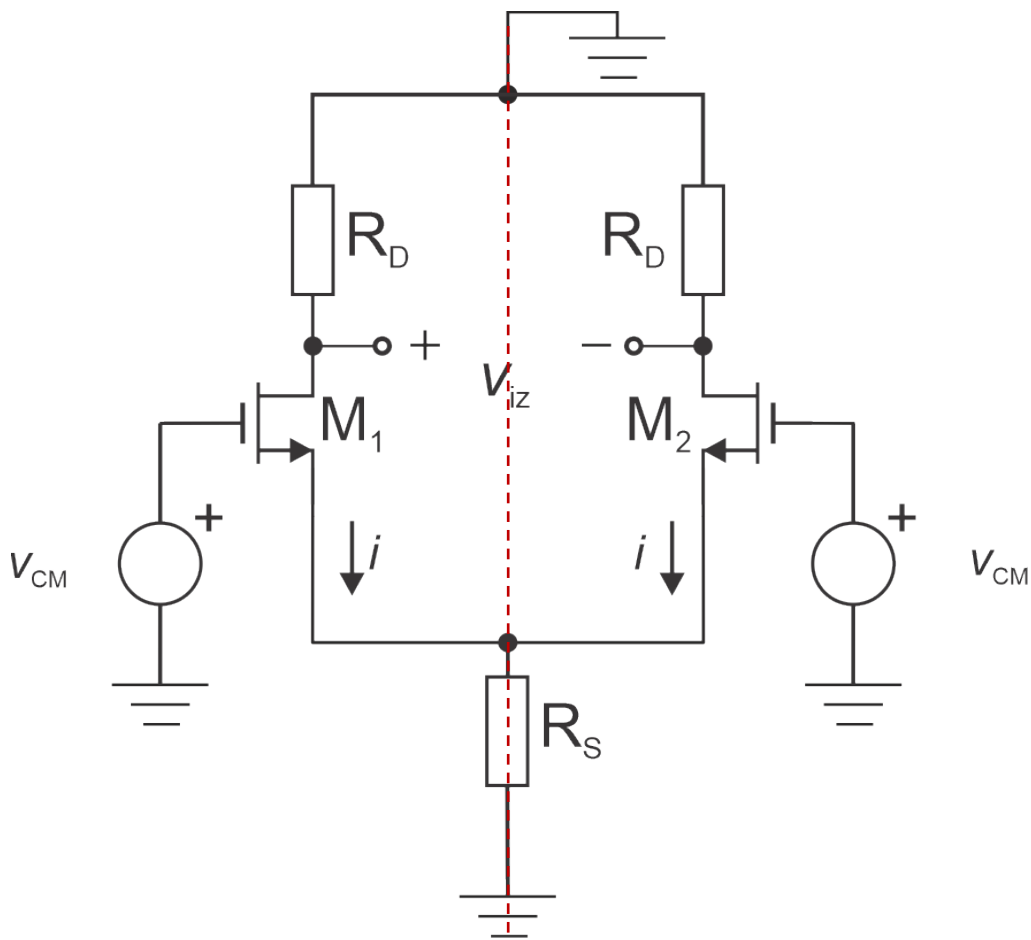
- $V_{GS}=0, R_S \approx \infty$

$$R_{ul} = \infty$$

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

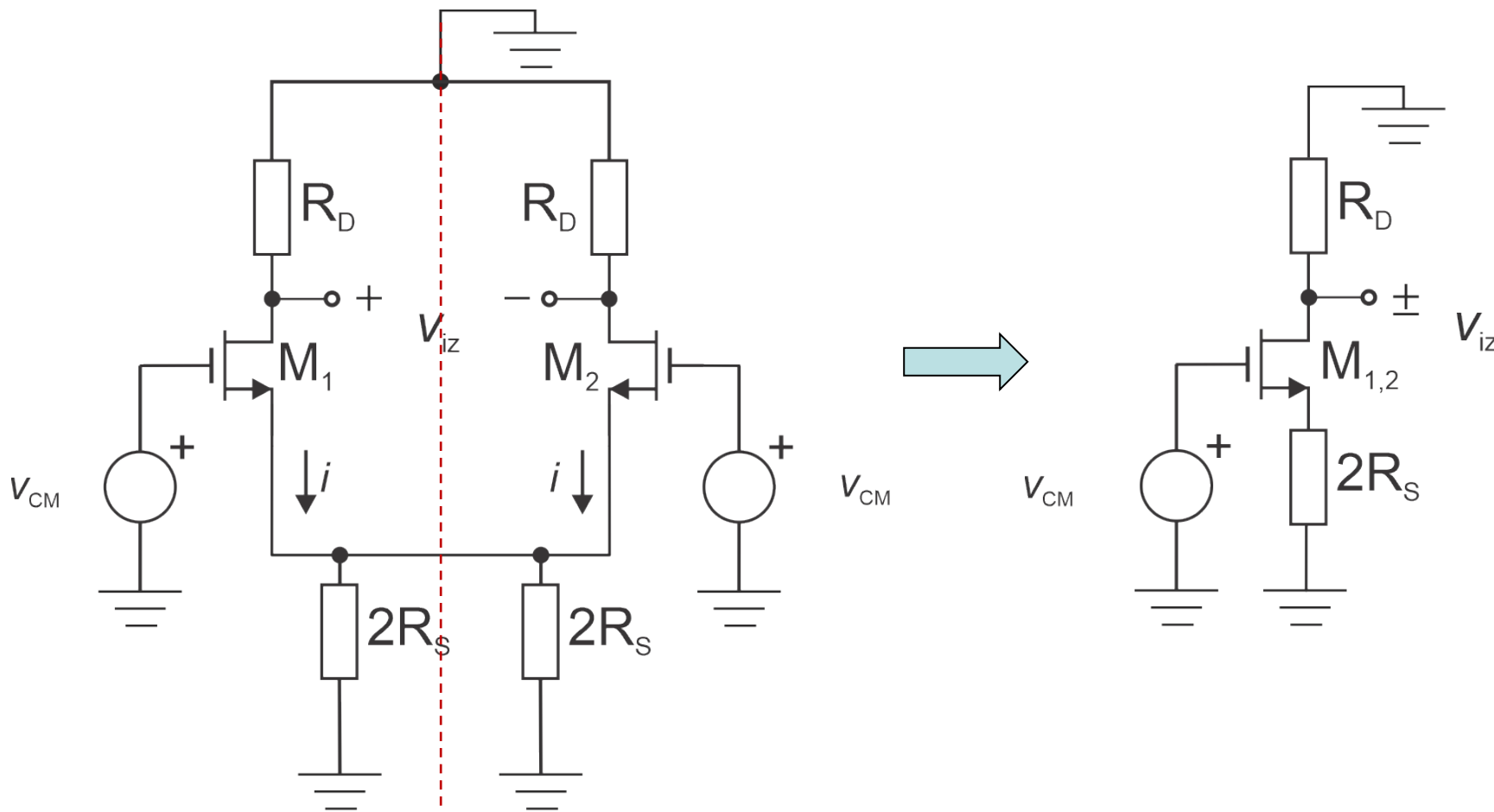


# Diferencijalni pojačavač – srednja vrednost signala



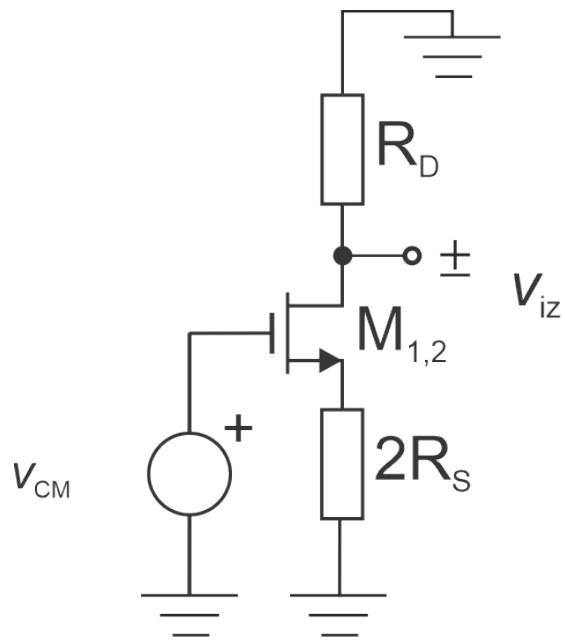
- Analiza za napon srednje vrednosti signala
- Naizmenična komponenta napona srednje vrednosti signala  $v_{CM}$
- Struje kanala tranzistora  $M_1$  i  $M_2$  su jednake
- Kroz otpornik  $R_S$  protiče struja dvostruko veća od struja drejna  $M_1$  i  $M_2$ .

# 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 ( $r_o = \infty$ )

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

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

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