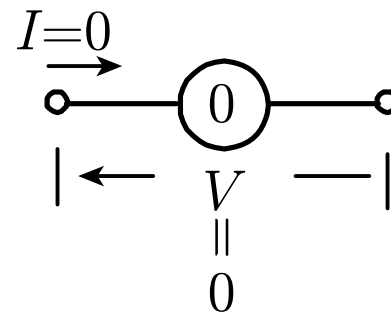
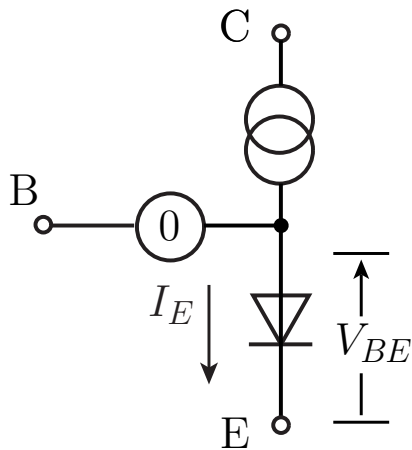


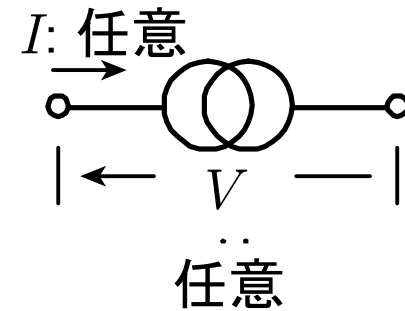
基本增幅回路：差動增幅回路

バイポーラトランジスタを用いた差動増幅回路

バイポーラトランジスタのモデル(大信号モデル)



(a) ナレータ

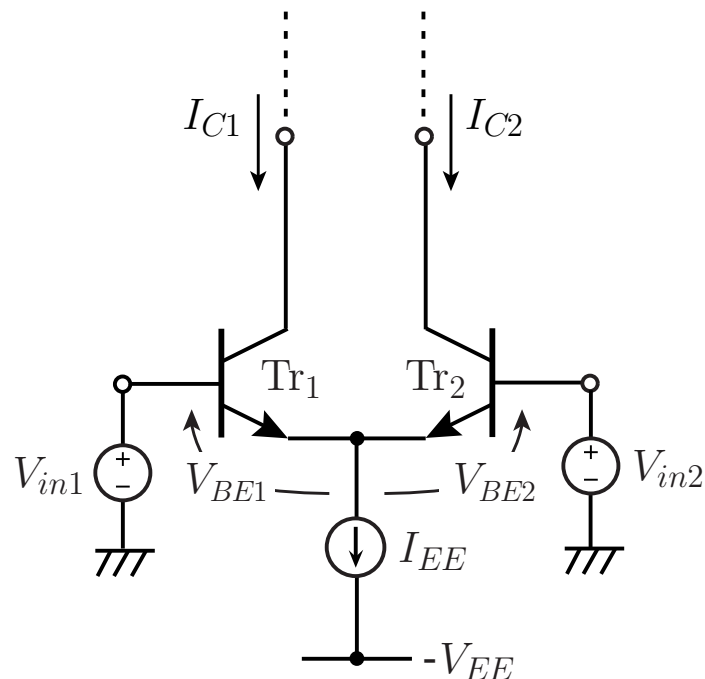


(b) ノレータ

$$I_E = I_{ES} \exp\left(\frac{qV_{BE}}{kT}\right)$$

$$I_C = I_E$$

バイポーラ差動増幅回路



$$V_{in1} - V_{BE1} + V_{BE2} - V_{in2} = 0$$

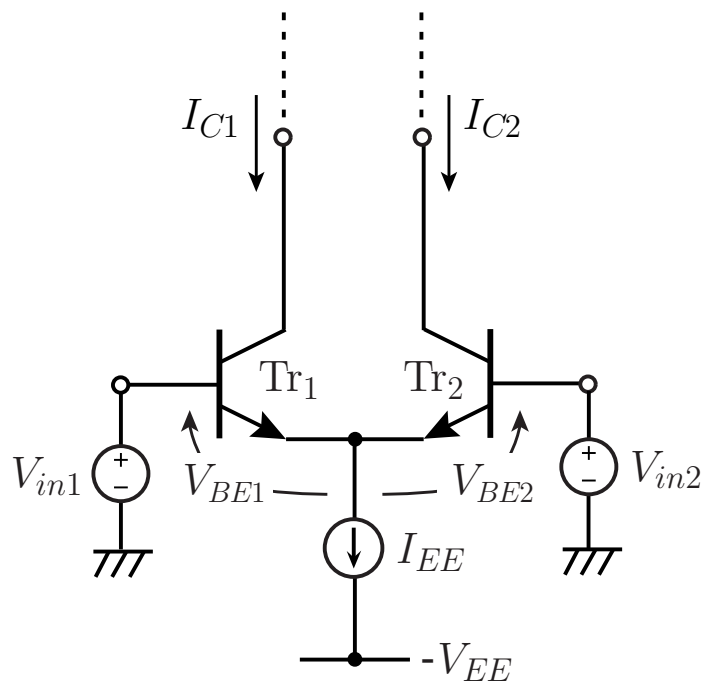
$$\Delta V_{in} = V_{in1} - V_{in2} = V_{BE1} - V_{BE2}$$

$$V_{BEi} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{Ei}}{I_{ES}}\right)$$

$$\Delta V_{in} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{E1}}{I_{ES}}\right) - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{E2}}{I_{ES}}\right)$$

$$I_{Ci} = I_{Ei}$$

$$= \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{E1}}{I_{E2}}\right)$$



$$\frac{I_{E1}}{I_{E2}} = \exp\left(\frac{q\Delta V_{in}}{kT}\right)$$

$$I_{E1} + I_{E2} = I_{EE}$$

$$I_{E1} = \frac{I_{EE}}{1 + \exp\left(\frac{-q\Delta V_{in}}{kT}\right)}$$

$$I_{E2} = \frac{I_{EE}}{1 + \exp\left(\frac{+q\Delta V_{in}}{kT}\right)}$$

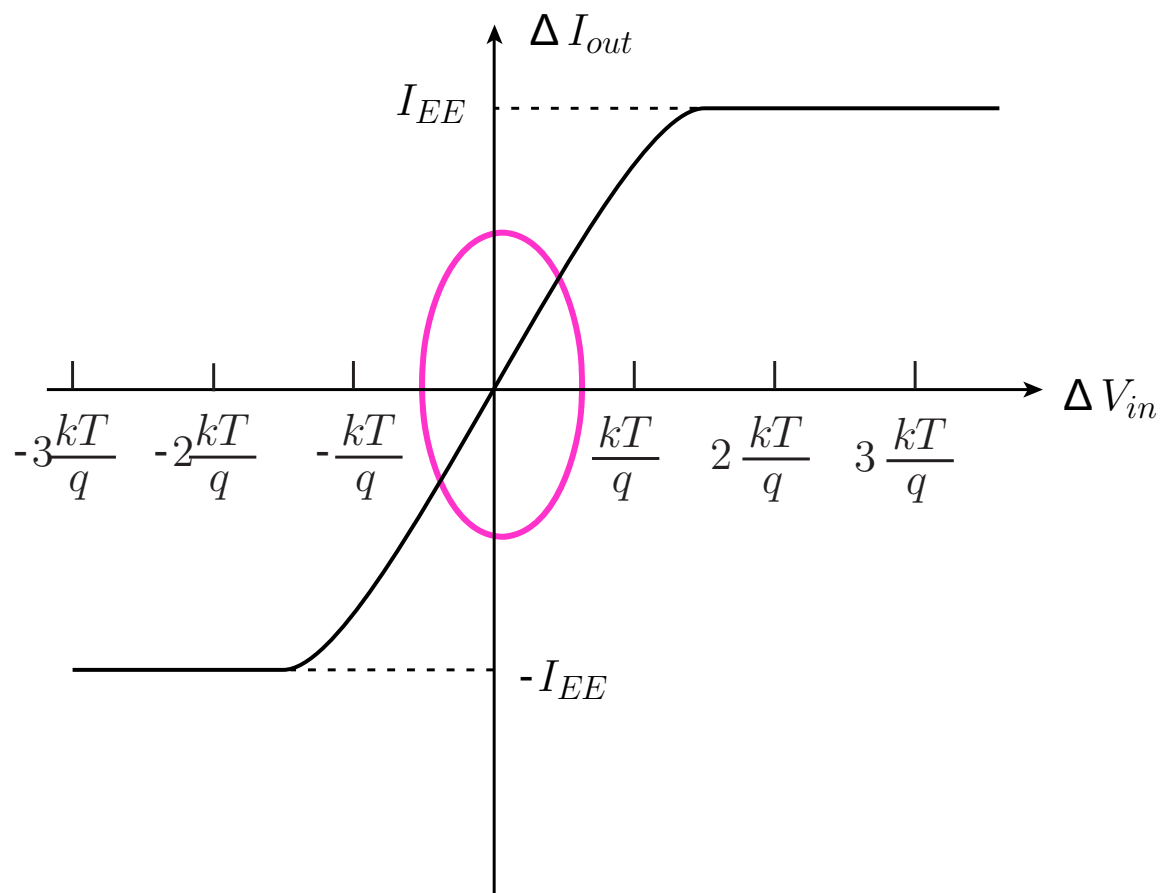
$$I_{E1} = \frac{I_{EE}}{1 + \exp\left(\frac{-q\Delta V_{in}}{kT}\right)} \quad I_{E2} = \frac{I_{EE}}{1 + \exp\left(\frac{+q\Delta V_{in}}{kT}\right)}$$

$$\Delta I_{out} = I_{C1} - I_{C2} = I_{E1} - I_{E2}$$

$$= I_{EE} \left(\frac{1 - \exp\left(\frac{-q\Delta V_{in}}{kT}\right)}{1 + \exp\left(\frac{-q\Delta V_{in}}{kT}\right)} \right)$$

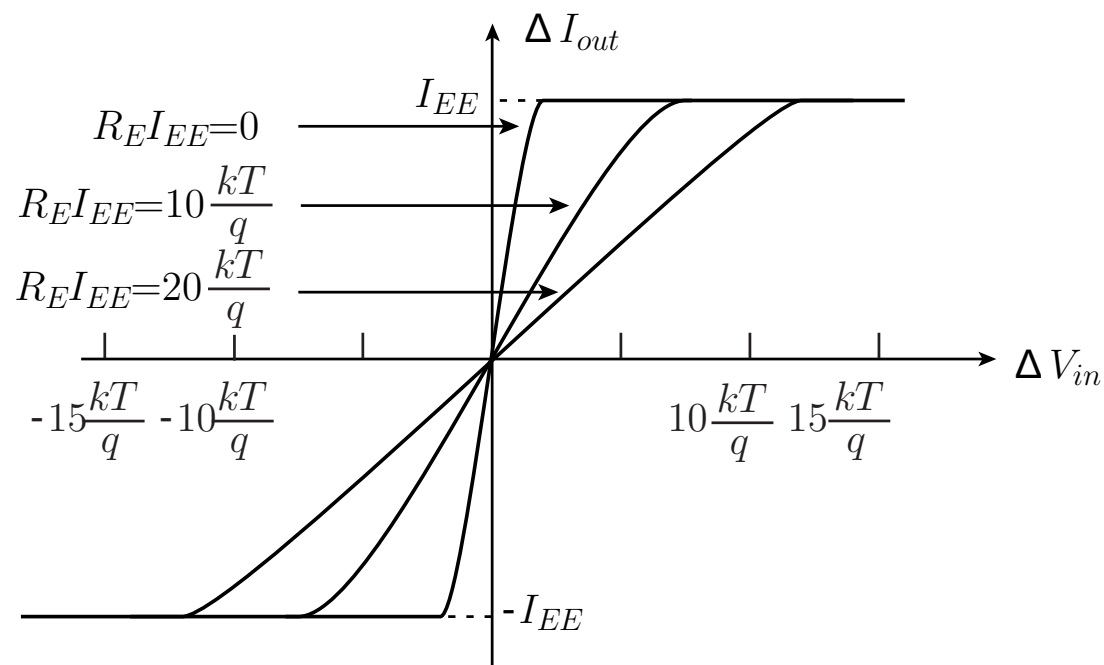
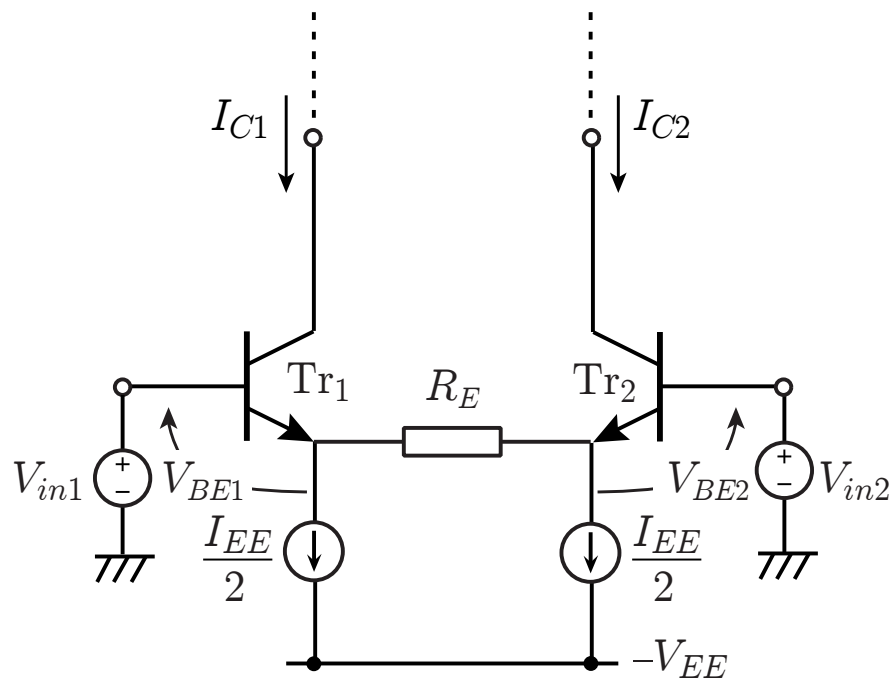
$$= I_{EE} \left(\frac{\exp\left(\frac{q\Delta V_{in}}{2kT}\right) - \exp\left(\frac{-q\Delta V_{in}}{2kT}\right)}{\exp\left(\frac{q\Delta V_{in}}{2kT}\right) + \exp\left(\frac{-q\Delta V_{in}}{2kT}\right)} \right) = I_{EE} \tanh\left(\frac{q\Delta V_{in}}{2kT}\right)$$

バイポーラ差動増幅回路の大信号特性



線形範囲: 数十mV程度

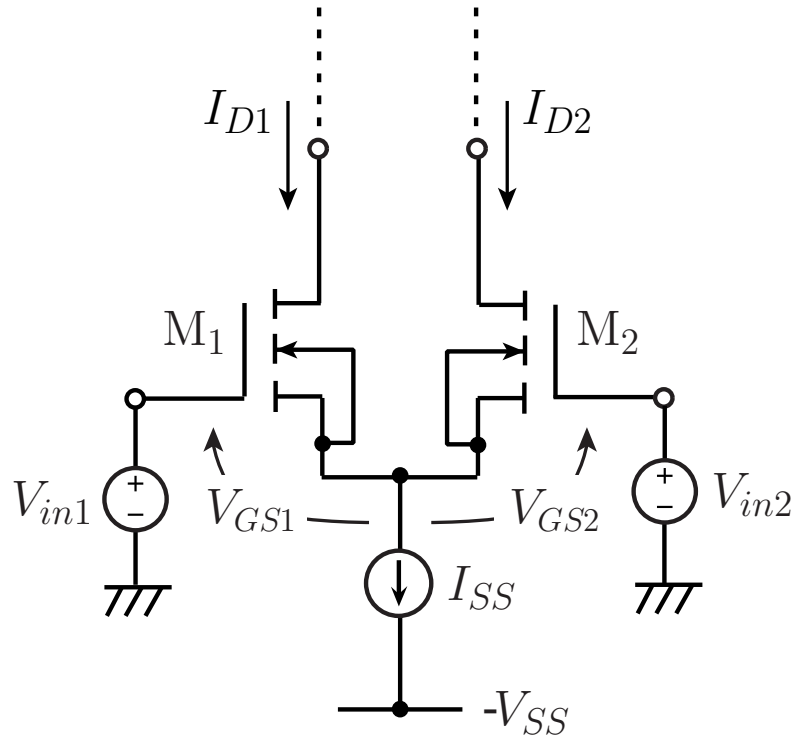
線形入力範囲の拡大



伝達コンダクタンスの低減

MOSTランジスタを用いた差動増幅回路

MOS差動増幅回路



飽和領域： $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T > 0$

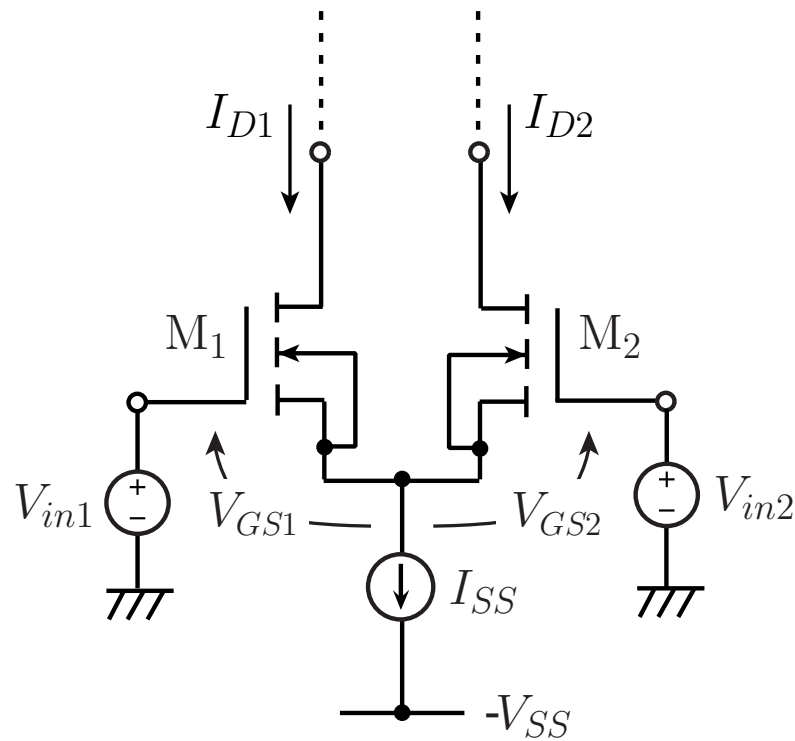
($V_{SB}=0$ と仮定)

$$2乗則： I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{in1} = \sqrt{\frac{I_{D1}}{K}} + V_S + V_T$$

$$V_{in2} = \sqrt{\frac{I_{D2}}{K}} + V_S + V_T$$

$$\Delta V_{in} = V_{in1} - V_{in2} = \sqrt{\frac{I_{D1}}{K}} - \sqrt{\frac{I_{D2}}{K}}$$



$$\Delta V_{in} = V_{in1} - V_{in2} = \sqrt{\frac{I_{D1}}{K}} - \sqrt{\frac{I_{D2}}{K}}$$

$$\Delta V_{in}^2 = \frac{I_{D1} + I_{D2}}{K} - 2\sqrt{\frac{I_{D1}I_{D2}}{K^2}} = \frac{I_{SS}}{K} - 2\sqrt{\frac{I_{D1}(I_{SS} - I_{D1})}{K^2}}$$

$$I_{D1}^2 - I_{SS}I_{D1} + \frac{K^2}{4}\left(\frac{I_{SS}}{K} - \Delta V_{in}^2\right)^2 = 0$$

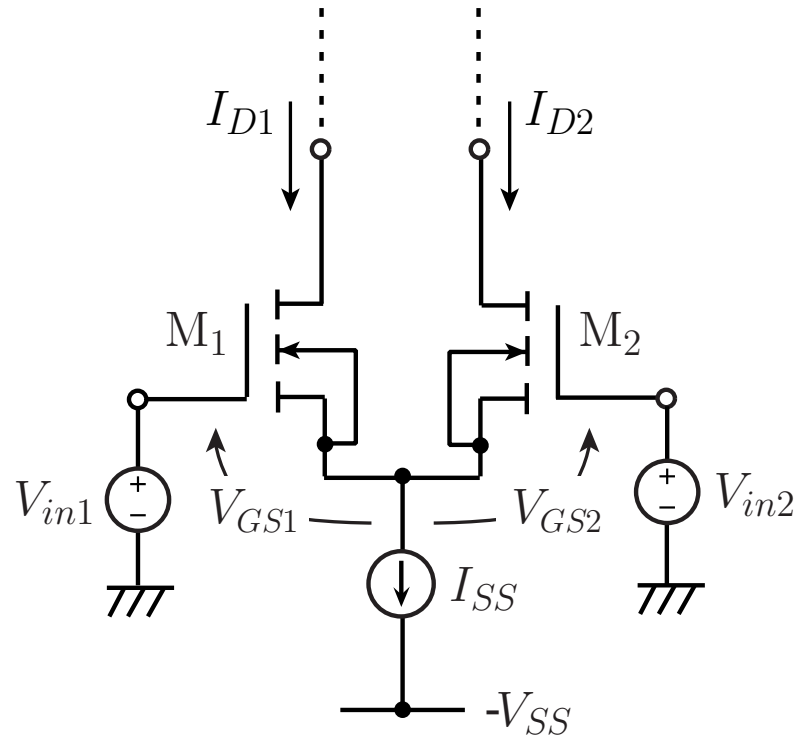
$$I_{D1}^2 - I_{SS}I_{D1} + \frac{K^2}{4} \left(\frac{I_{SS}}{K} - \Delta V_{in}^2 \right)^2 = 0$$

$$I_{D1} = \frac{I_{SS} \pm \sqrt{2KI_{SS}\Delta V_{in}^2 - K^2\Delta V_{in}^4}}{2}$$

$\Delta V_{in} > 0$ のとき $I_{D1} > I_{SS}/2$ より

$$I_{D1} = \frac{I_{SS} + \Delta V_{in} \sqrt{2KI_{SS} - K^2\Delta V_{in}^2}}{2}$$

$$I_{D2} = \frac{I_{SS} - \Delta V_{in} \sqrt{2KI_{SS} - K^2\Delta V_{in}^2}}{2}$$



$$I_{D1} = \frac{I_{SS} + \Delta V_{in} \sqrt{2KI_{SS} - K^2 \Delta V_{in}^2}}{2}$$

$$I_{D2} = \frac{I_{SS} - \Delta V_{in} \sqrt{2KI_{SS} - K^2 \Delta V_{in}^2}}{2}$$

$$\Delta I_{out} = I_{D1} - I_{D2} = \Delta V_{in} \sqrt{2KI_{SS} - K^2 \Delta V_{in}^2}$$

$$|\Delta V_{in}|^2 \ll \sqrt{2I_{SS}/K} \text{ならば}$$

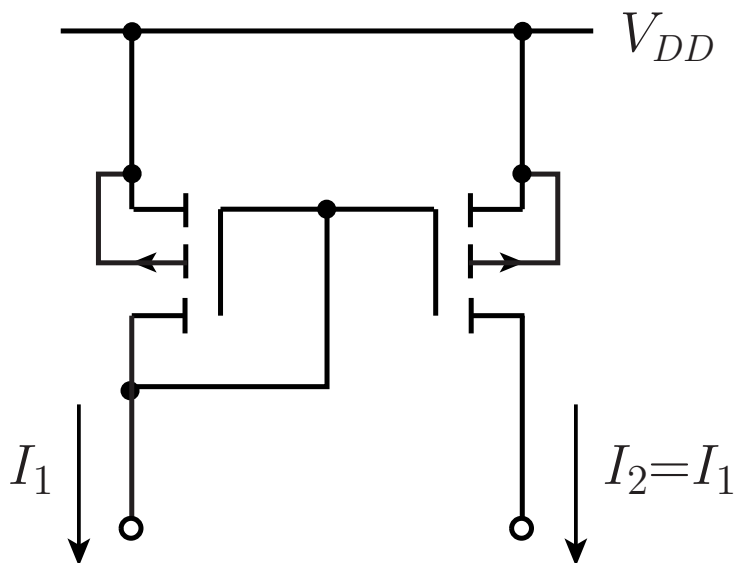
$$\Delta I_{out} = \Delta V_{in} \sqrt{2KI_{SS} - K^2 \Delta V_{in}^2} \approx \sqrt{2KI_{SS}} \Delta V_{in}$$

I_{SS} や K によって線形範囲を拡大可能

I_{SS} やの増加 $\Rightarrow$ 消費電力の増加

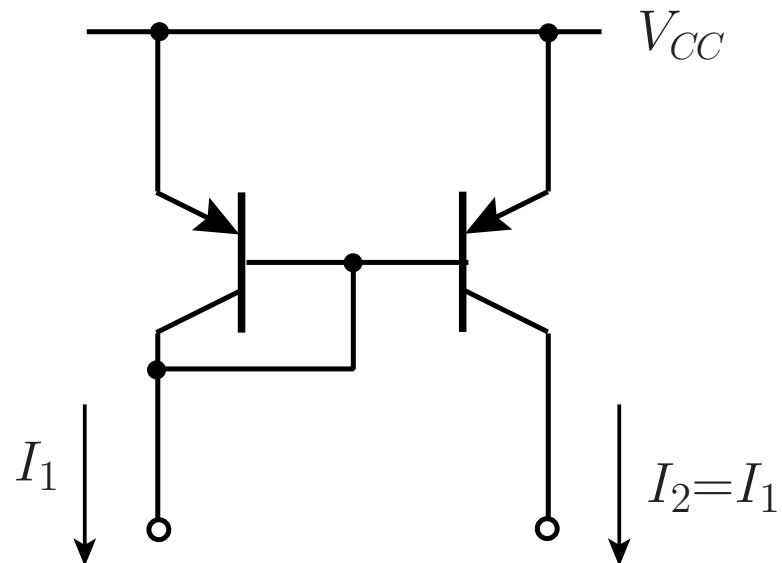
$K \propto \frac{W}{L}$: W と L の積の増加 $\Rightarrow$ 寄生容量の増加

カレントミラー回路



(a)

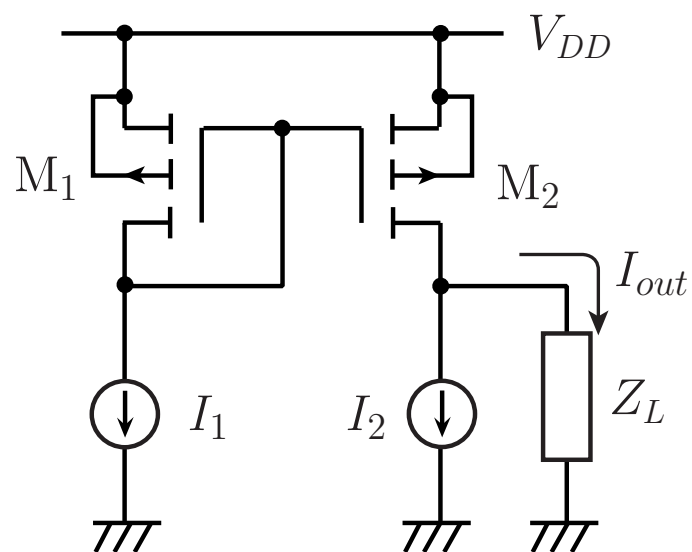
飽和領域で動作



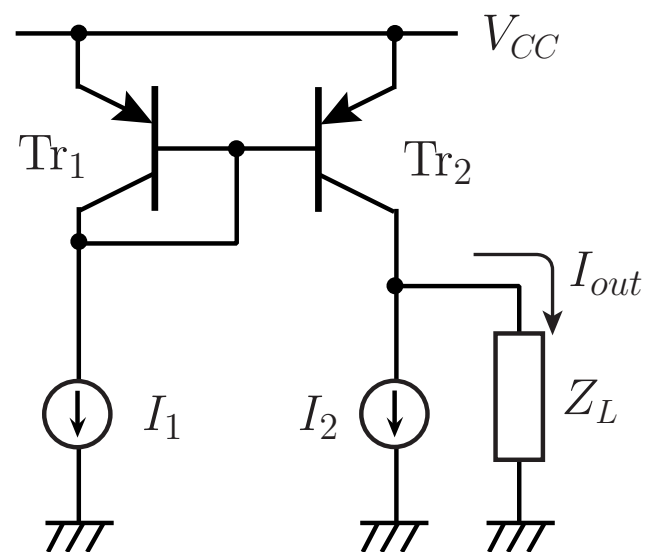
(b)

能動活性領域で動作

電流の減算



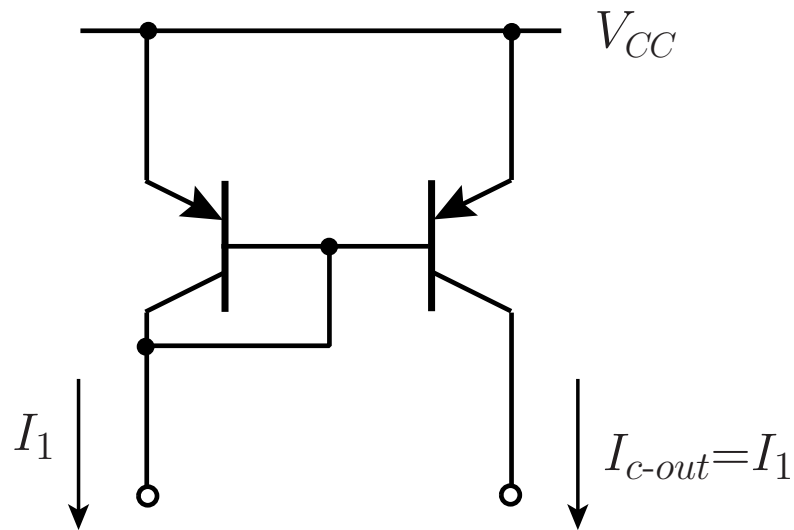
(a)



(b)

$$I_{out} = I_1 - I_2$$

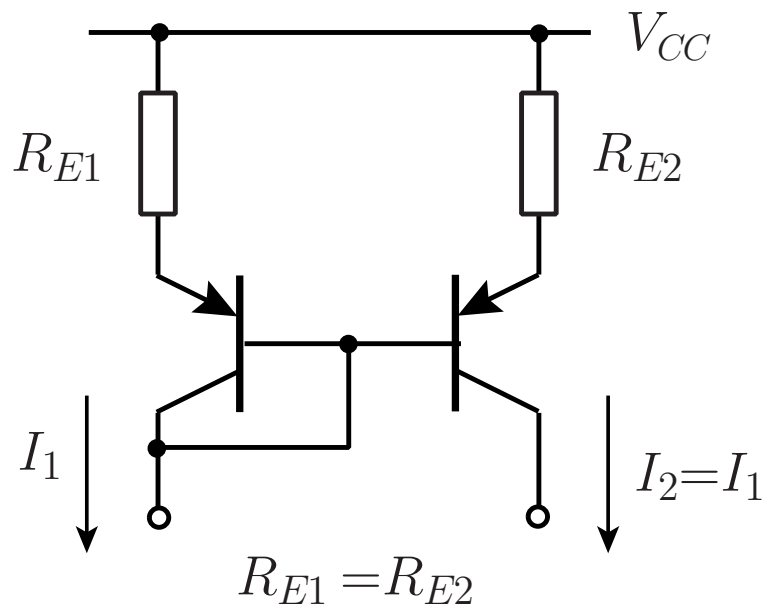
バイポーラ・カレントミラー回路の問題点



ベース・エミッタ間電圧が
等しいので $I_{c-out} = I_1$

$$V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_1}{I_{S1}} + 1\right) = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{c-out}}{I_{S2}} + 1\right) \text{ より } I_{c-out} = \frac{I_{S2}}{I_{S1}} I_1$$

I_{S1} と I_{S2} が等しくないと $I_{c-out} \neq I_1$



I_{S1} と I_{S2} の差の影響を
 R_E により吸収

$$R_{E1}I_1 + \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_1}{I_{S1}} + 1\right) = R_{E2}I_2 + \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_2}{I_{S2}} + 1\right)$$

$$R_{E1}I_1 \approx R_{E2}I_2$$

$$R_{E1} = R_{E2} \text{ のとき } I_1 \approx I_2$$

$$R_{E1}I_1 + \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_1}{I_{S1}} + 1\right) = R_{E2}I_2 + \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_2}{I_{S2}} + 1\right)$$

$$R_E(I_1 - I_2) = -R_E \Delta I = -\frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{S1}}{I_{S2}} \times \frac{I_2 + I_{S2}}{I_1 + I_{S1}}\right)$$

$$= -\frac{kT}{q} \left(\ln \frac{I_{S1}}{I_{S2}} + \ln \frac{I_1 + \Delta I + I_{S2}}{I_1 + I_{S1}} \right) \text{よ り}$$

$$\Delta I^{(n+1)} = \frac{kT}{qR_E} \left(\ln \frac{I_{S2}}{I_{S1}} + \ln \frac{I_1 + I_{S1}}{I_1 + \Delta I^{(n)} + I_{S2}} \right)$$

という漸化式が得られる.

$R_{E1} = R_{E2} = 1.0 \text{ k}\Omega$, $I_1 = 1.0 \text{ mA}$, $I_{S1} = 2I_{S2} = 2.0 \text{ fA}$ と仮定する.

$$\Delta I = -1.747891708 \times 10^{-5} \text{ A}, \quad I_2 = 0.9825210829 \text{ mA}$$

電流出力型差動増幅回路

