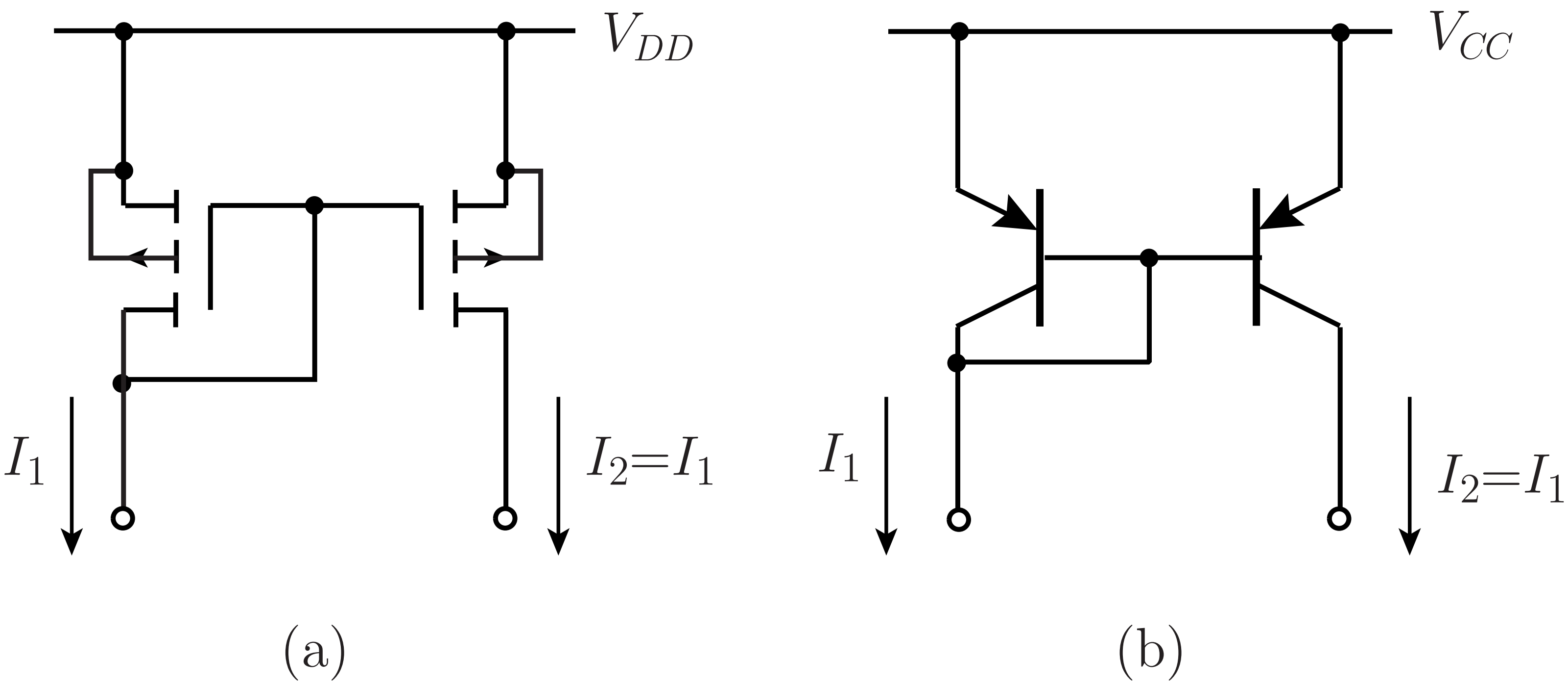
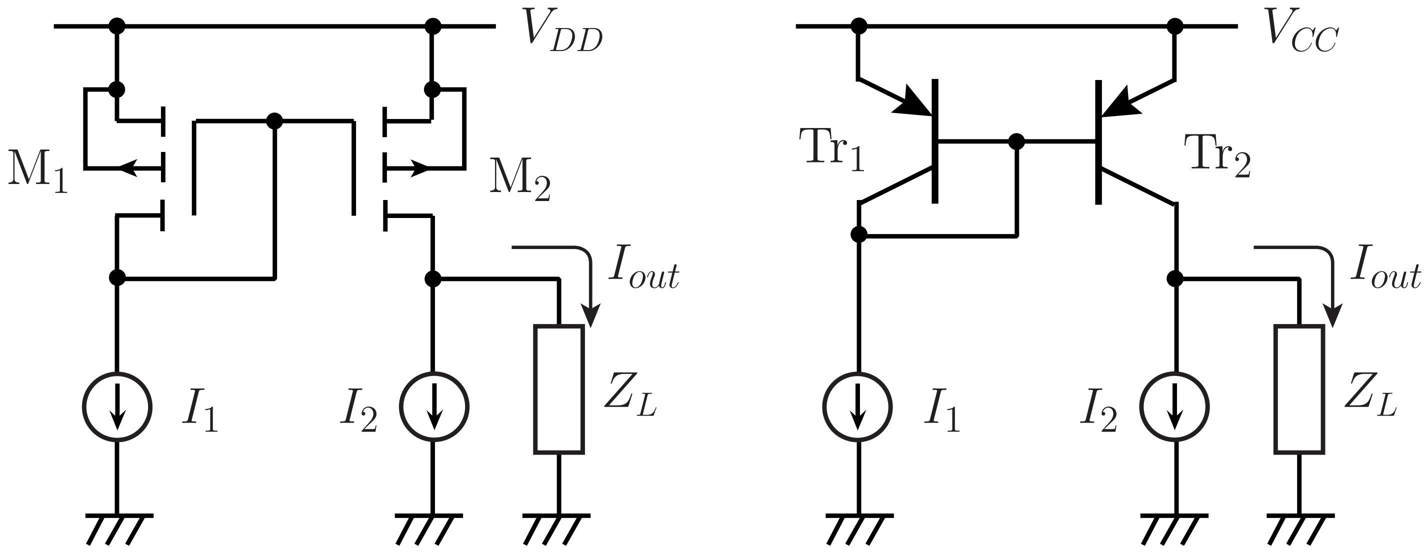
電流の減算

カレントミラー回路



飽和領域で動作

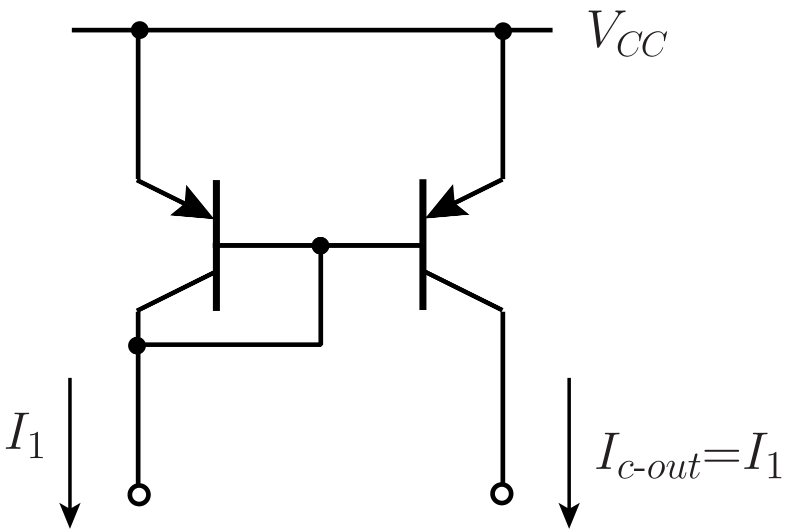
能動活性領域で動作



(a) (b)

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

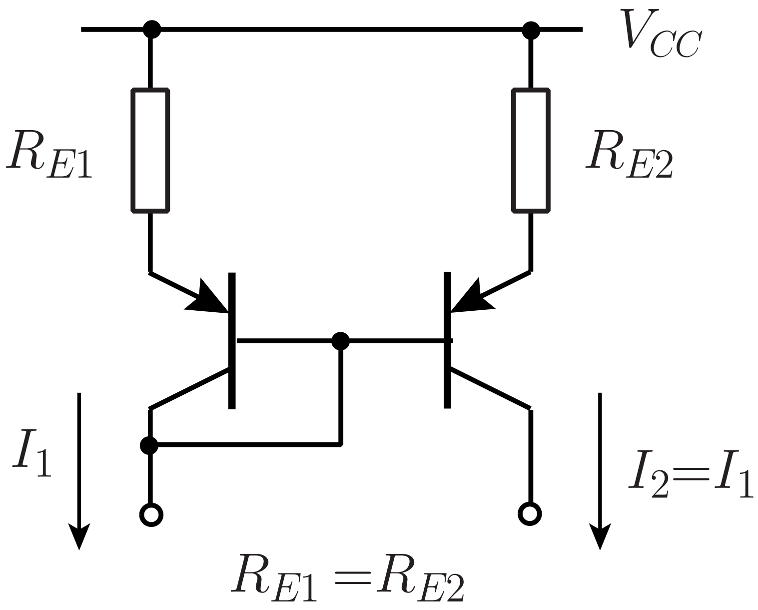
バイポーラ・カレントミラー回路の問題点



ベース・エミッタ間電圧が等しいので$I_{c-out} = I_1$

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

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

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

$R_{E1}=R_{E2}$のとき$I_1\approx I_2$

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

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

$$=\frac{kT}{q}(\ln\frac{I_{S1}}{I_{S2}}+\ln\frac{I_1+\Delta I+I_{S2}}{I_1+I_{S1}})$$ より

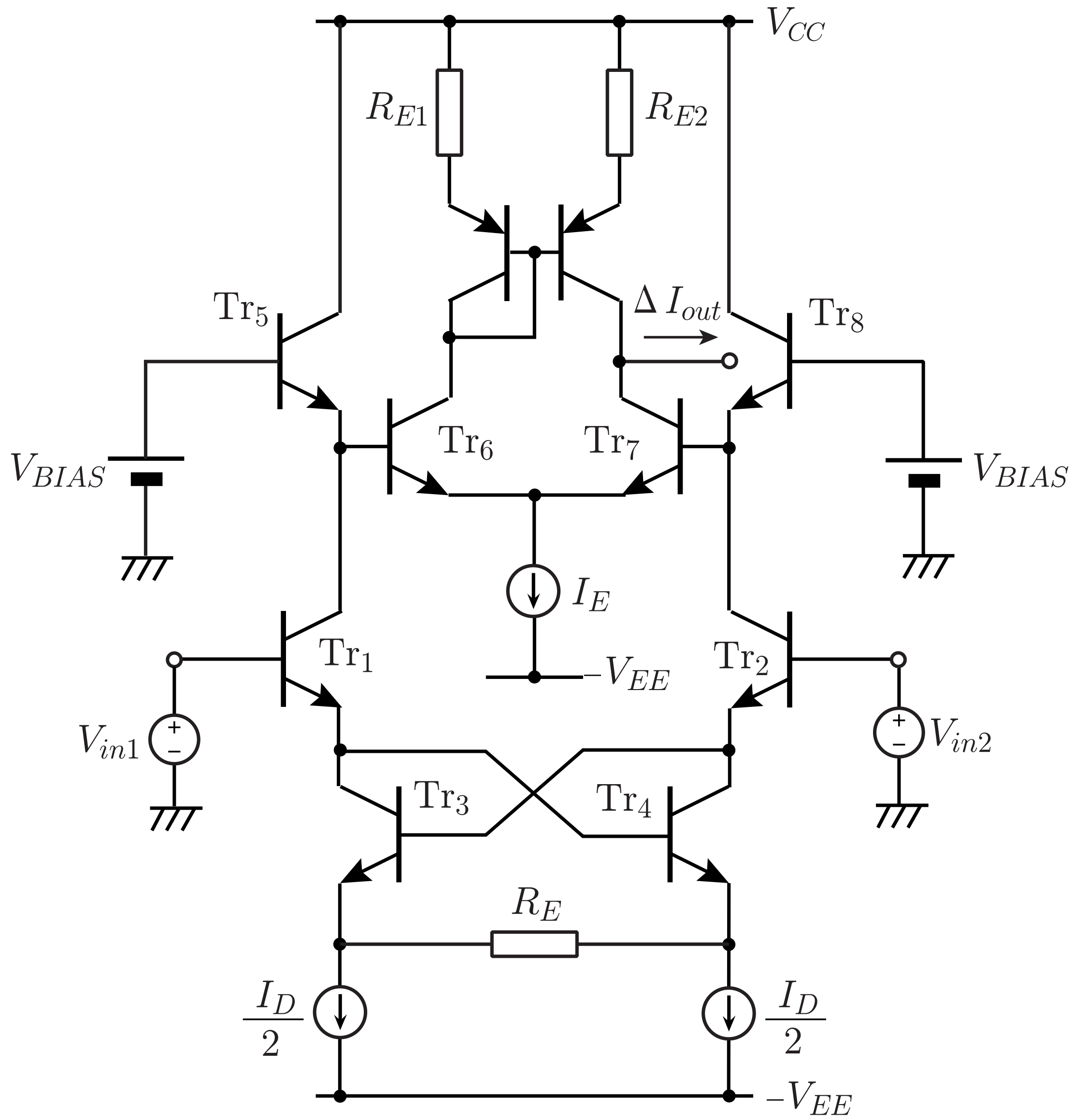
$$\Delta I^{(n+1)}=\frac{kT}{qR_E}(\ln\frac{I_{S2}}{I_{S1}}+\ln\frac{I_1+I_{S1}}{I_1+\Delta I^{(n)}+I_{S2}})$$

という漸化式が得られる.

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

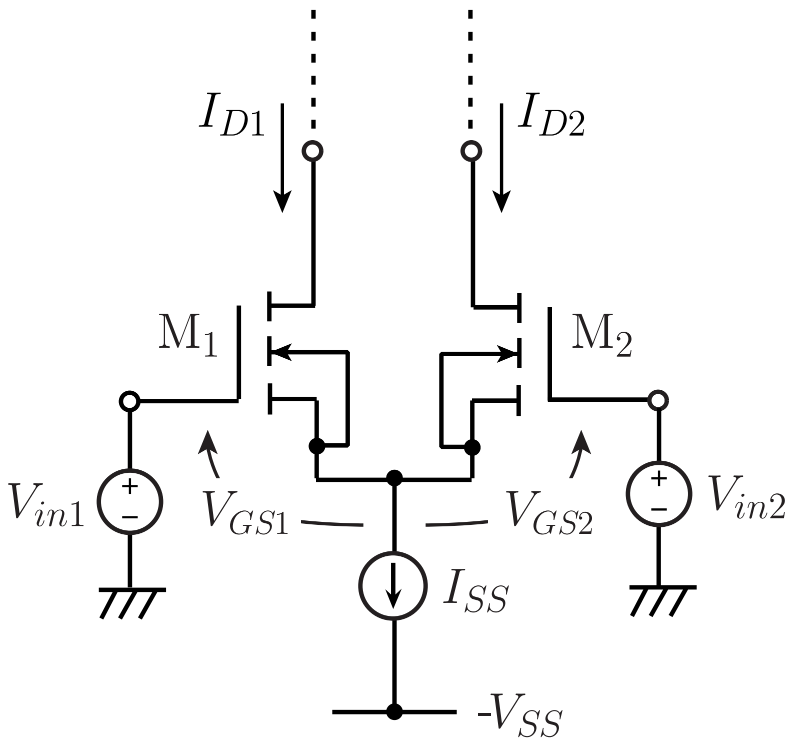
$\Delta I=-1.747891708\times10^{-5}A$, $I_2=0.9825210829\mathrm{mA}$

バイポーラトランジスタによる電子的に特性可変のOTA



MOS差動増幅回路の大信号特性

MOS差動増幅回路



飽和領域： $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T > 0$

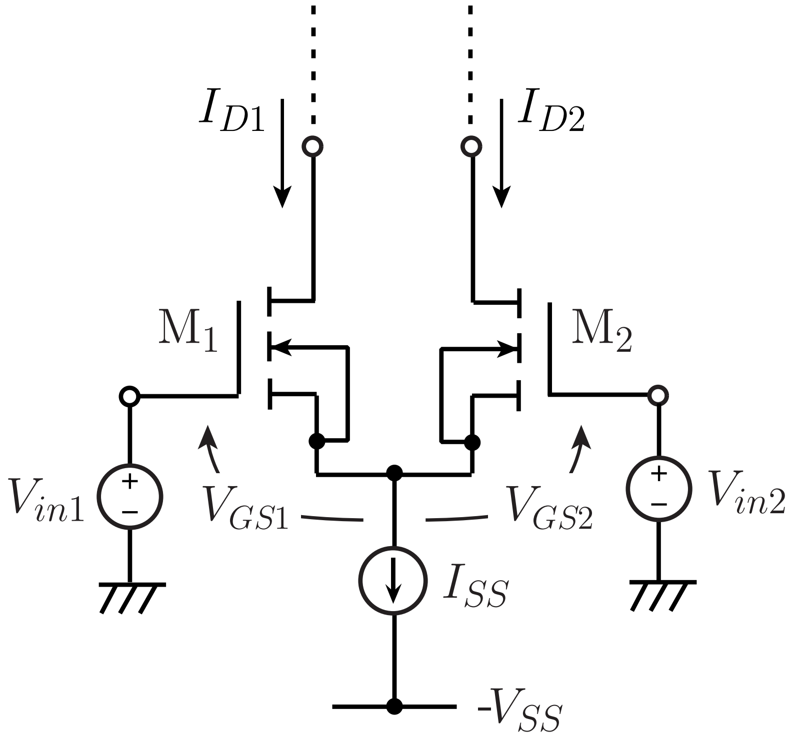
（$V_{SB}=0$と仮定）

$$\boxed{2\text{乗則：}I_D = K(V_{GS} - V_T)^2}$$

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

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

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



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

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

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

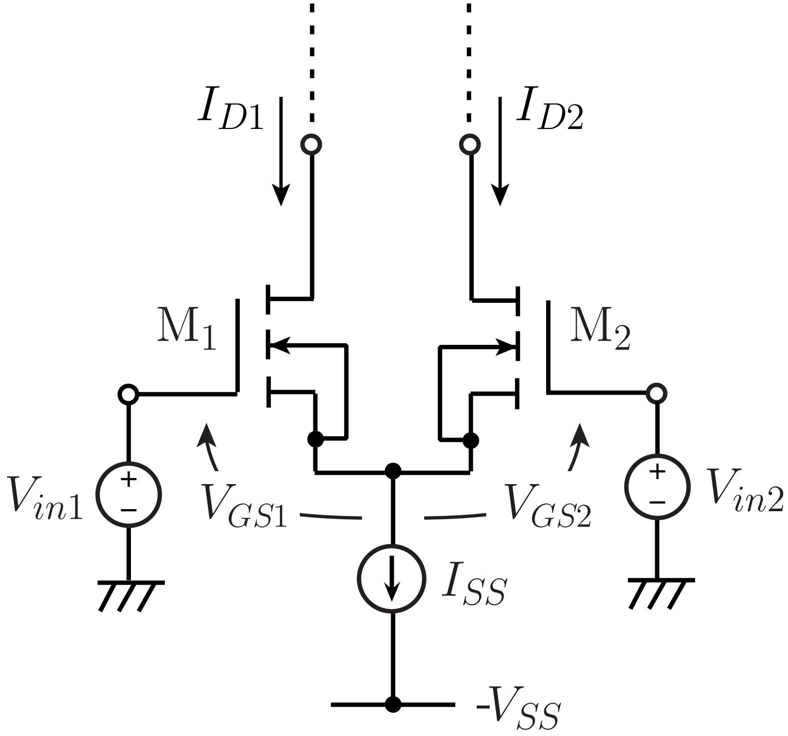
$$\boxed{I_{D1}{}^2 - I_{SS} I_{D1} + \frac{K^2}{4}\left(\frac{I_{SS}}{K} - \Delta V_{in}{}^2\right)^2 = 0}$$

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

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

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

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



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

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

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

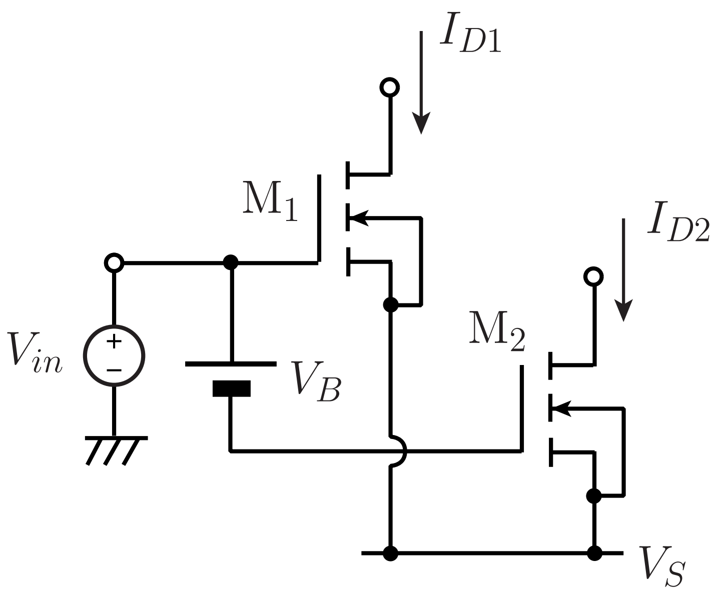
$\left|\Delta V_{in}\right|^2 << \sqrt{2I_{SS}/K}$ならば

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

$\boxed{I_{SS}\text{や}K\text{によって線形範囲を拡大可能}}$

$\boxed{I_{SS}\text{や}K\text{の値に実質的な制限}}$

バイアスオフセット技術



2乗則：$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$

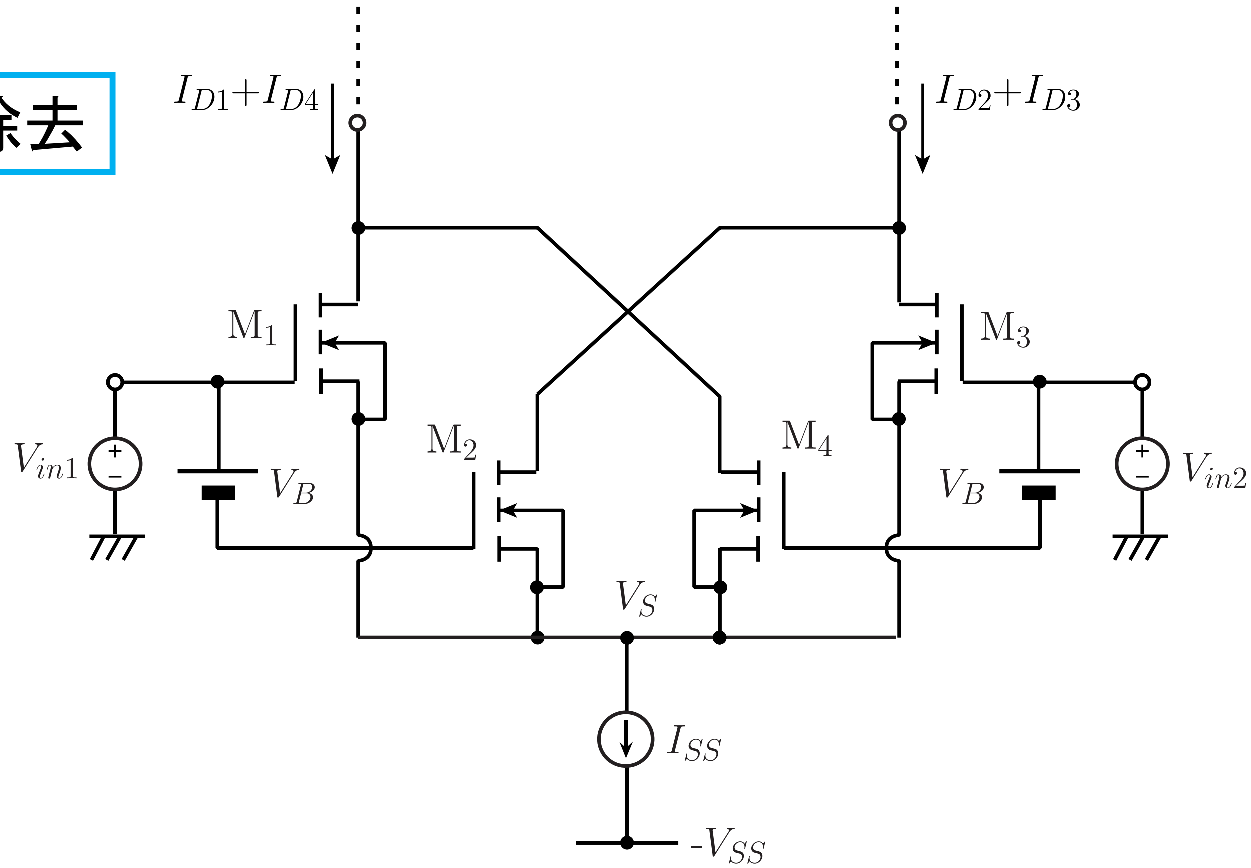
$$I_{D1} = K(V_{in} - V_S - V_T)^2$$

$$I_{D2} = K(V_{in} - V_B - V_S - V_T)^2$$

$$I_{D1} - I_{D2} = K(2V_{in} - V_B - 2V_S - 2V_T)V_B$$

$$= 2KV_BV_{in} - K(V_B + 2V_S + 2V_T)V_B$$

直流電流成分の除去

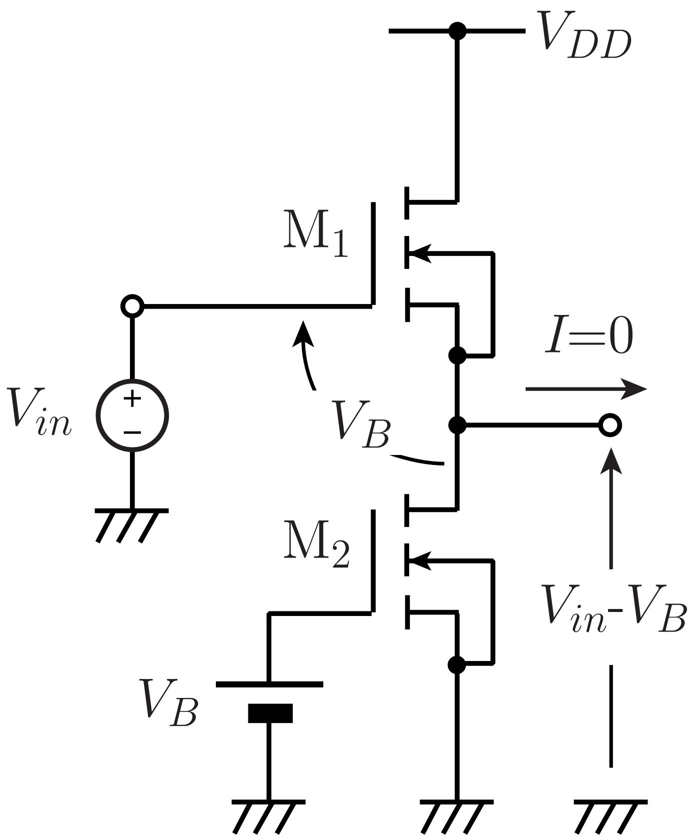


$$I_{D1}-I_{D2}=2KV_BV_{in1}-K(V_B+2V_S+2V_T)V_B$$

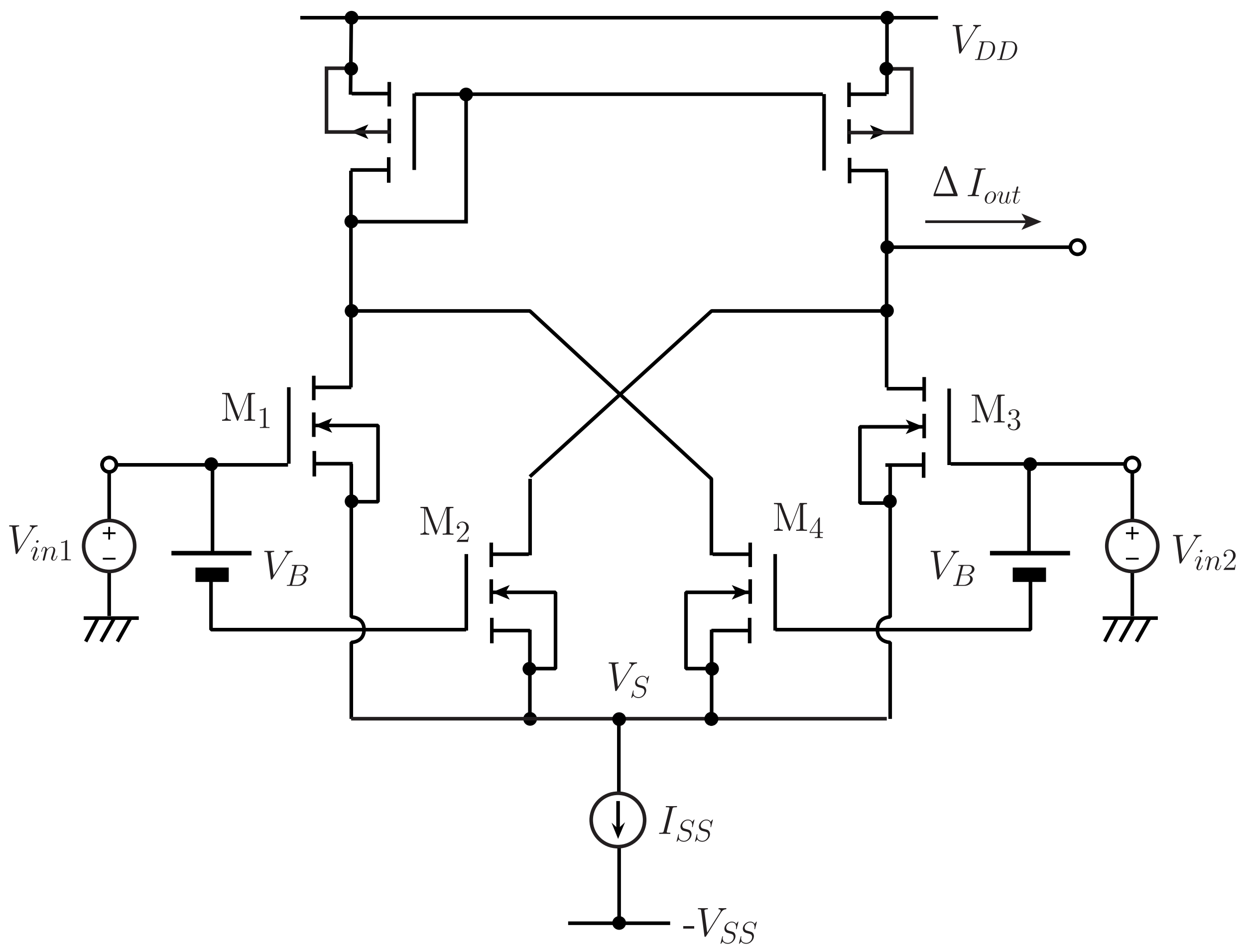
$$I_{D3}-I_{D4}=2KV_BV_{in2}-K(V_B+2V_S+2V_T)V_B$$

$$\boxed{\Delta I_{out}=(I_{D1}-I_{D2})-(I_{D3}-I_{D4})=2KV_B(V_{in1}-V_{in2})}$$

非接地直流電圧源の実現

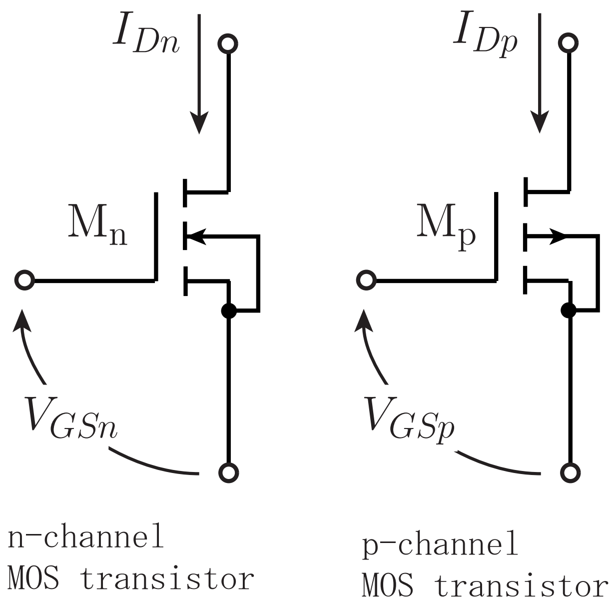


MOSトランジスタによる電子的に特性可変のOTA



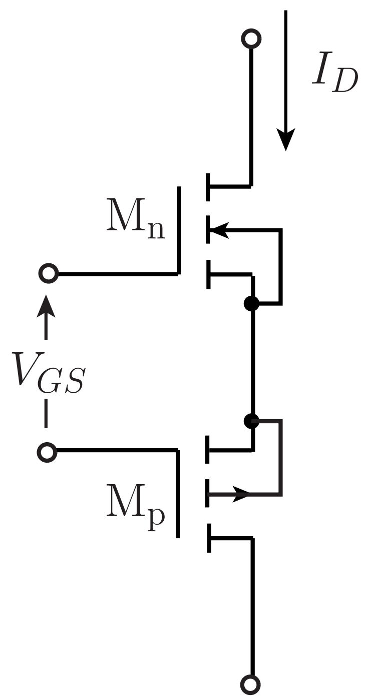
$$\Delta I_{out} = (I_{D1} - I_{D2}) - (I_{D3} - I_{D4}) = 2KV_B(V_{in1} - V_{in2})$$

問：CMOSペアの等価ゲート・ソース間電圧V_{GS},
等価コンダクタンスパラメータK, 等価しきい電圧V_Tを
K_i, V_{GSi}, V_{Ti} (i=n, p)を用いて表せ.



$$I_{Dn}=K_n(V_{GSn}-V_{Tn})^2$$

$$I_{Dp}=-K_p(V_{GSp}-V_{Tp})^2$$

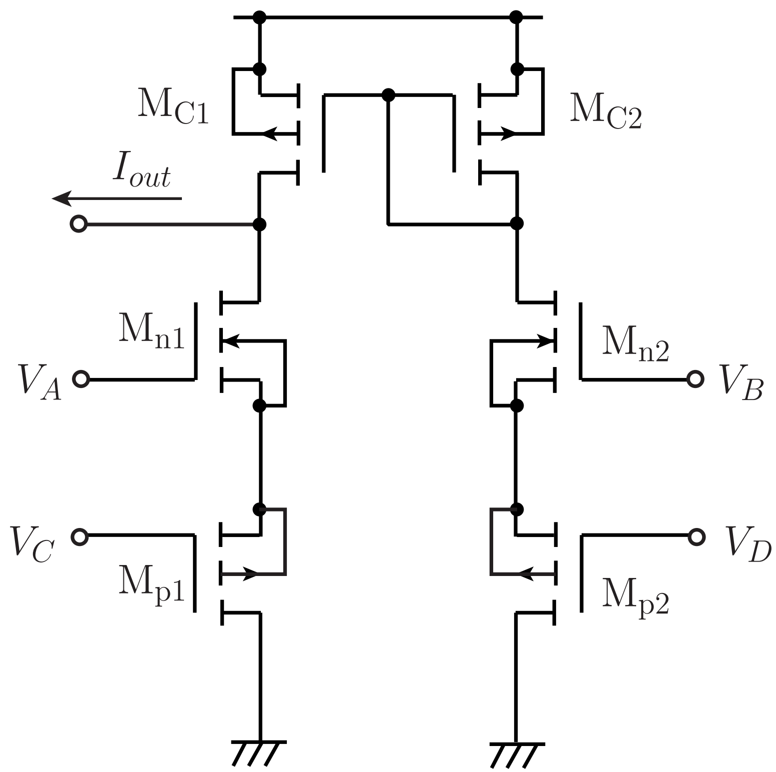


CMOSペア

問：右図に示すCMOSペアとカレントミラー回路から構成される回路に，適切な電圧V_AとV_B，V_C，V_Dを加え，出力電流I_{out}が

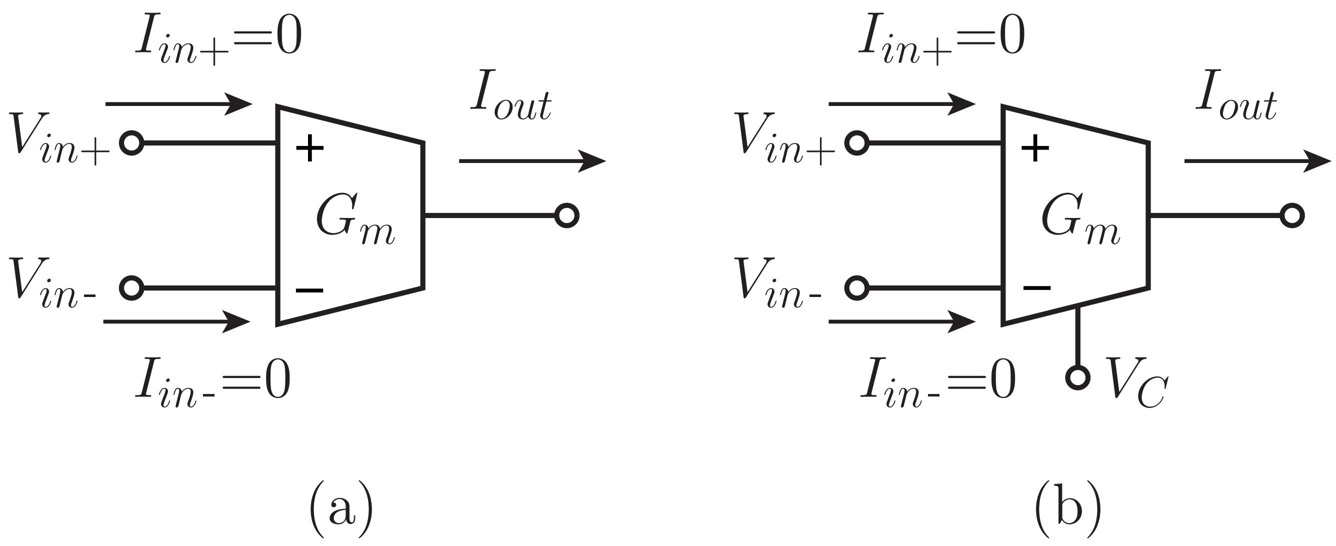
$I_{out}=\alpha(V_X-V_T)(V_{in1}-V_{in2})$

となる回路を実現したい．ただし，V_{in1}とV_{in2}は入力電圧，αは適当な定数，V_Xは適当な電圧，V_TはCMOSペアの等価しきい電圧である．電圧V_A，V_B，V_C，V_DをV_{in1}，V_{in2}，V_X，V_Tを用いて表せ．また，αも求めよ．



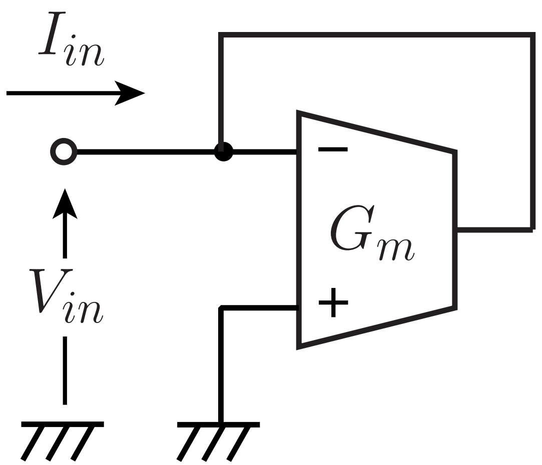
OTAの応用

OTAの記号



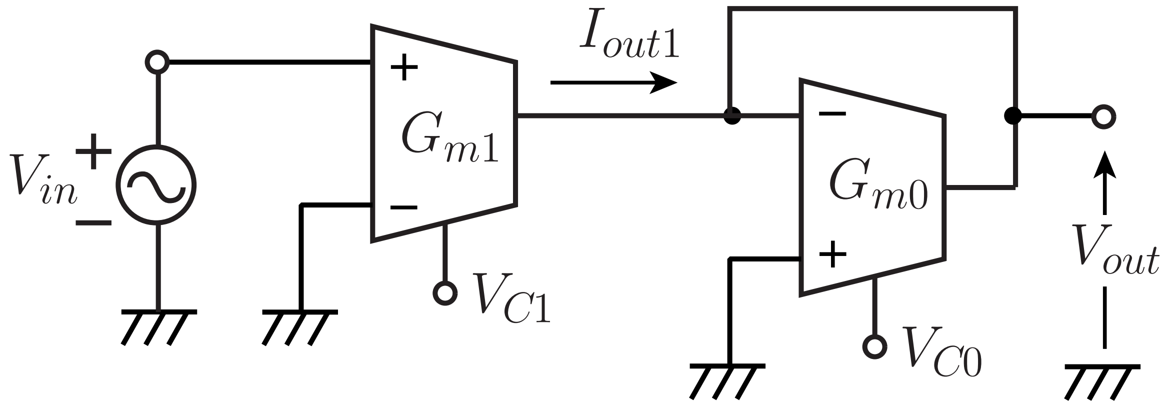
$$\boxed{I_{out}=G_m(V_{in+}-V_{in-})}$$

OTAによる抵抗の構成



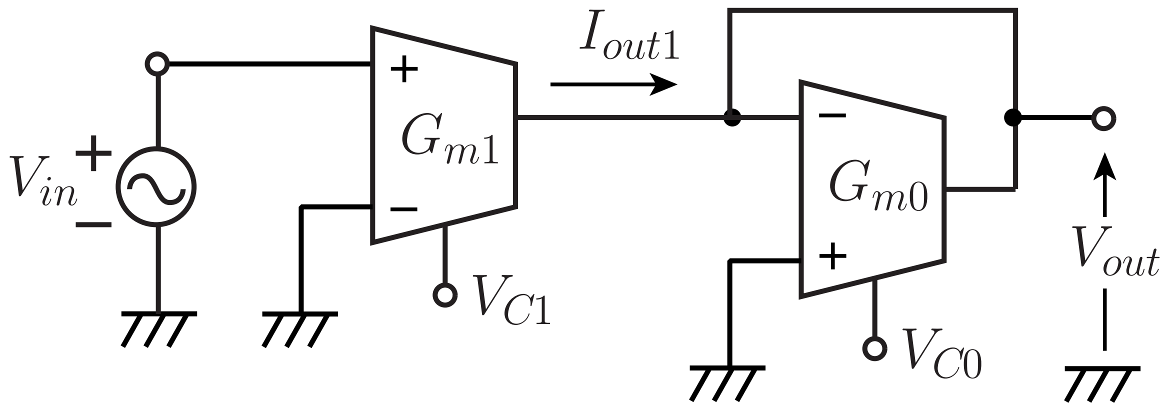
$$I_{in} = G_m V_{in} \rightarrow R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{1}{G_m}$$

OTAによる増幅回路の構成



$$\boxed{V_{out} = \frac{1}{G_{m0}} I_{out1} = \frac{G_{m1}}{G_{m0}} V_{in}}$$

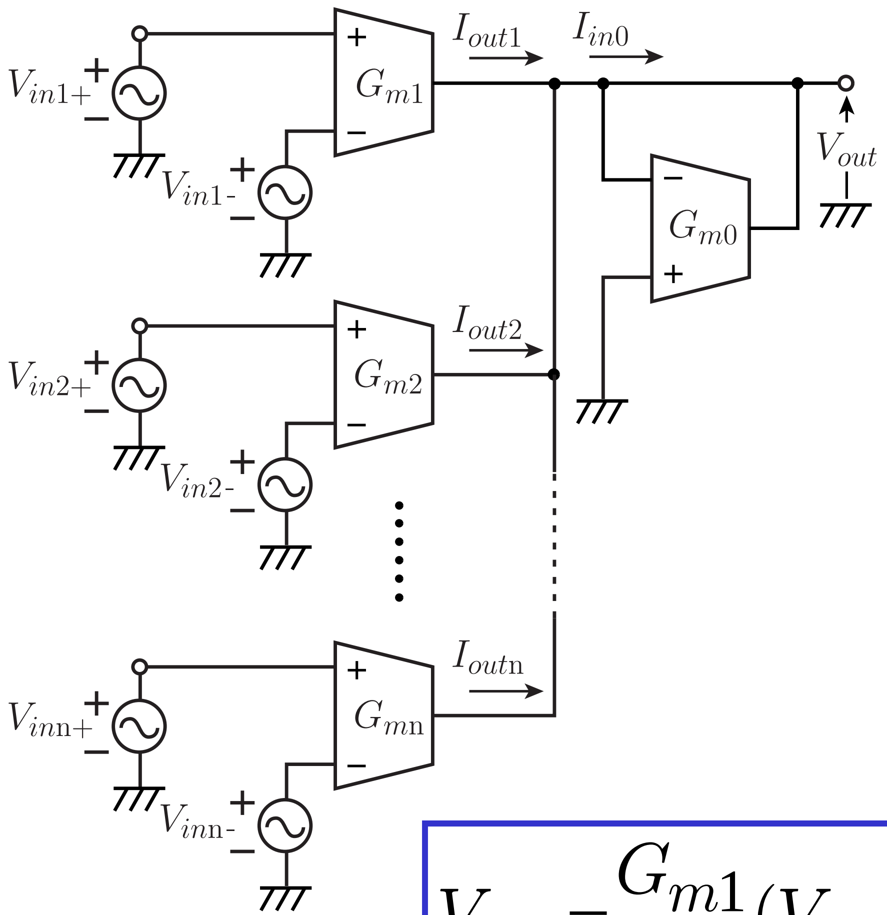
OTAによる乗除算回路の構成



$$G_{m0}=K_{m0}V_{C0},\quad G_{m1}=K_{m1}V_{C1}$$

$$\boxed{V_{out}=\frac{G_{m1}}{G_{m0}}V_{in}=\frac{K_{m1}}{K_{m0}}\cdot\frac{V_{C1}V_{in}}{V_{C0}}}$$

OTAによる加減算回路の構成



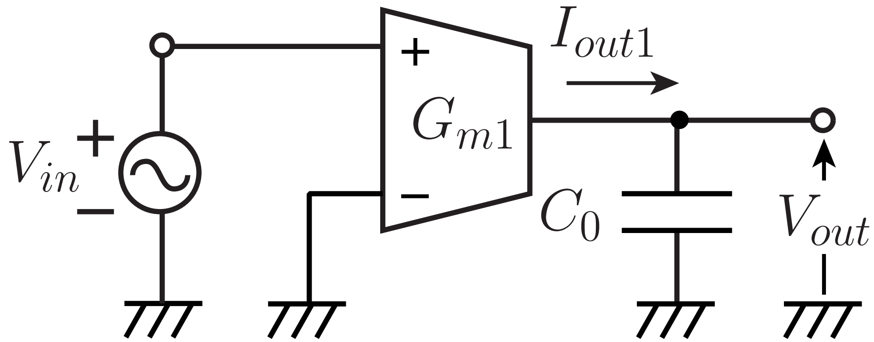
$$I_{in0}=I_{out1}+I_{out2}+\cdots+I_{out\mathrm{n}}$$

$$I_{out\mathrm{i}}=G_{m\mathrm{i}}(V_{in\mathrm{i}+}-V_{in\mathrm{i}-})$$

$$V_{out}=\frac{G_{m1}}{G_{m0}}(V_{in1+}-V_{in1-})+\frac{G_{m2}}{G_{m0}}(V_{in2+}-V_{in2-})+\cdots$$

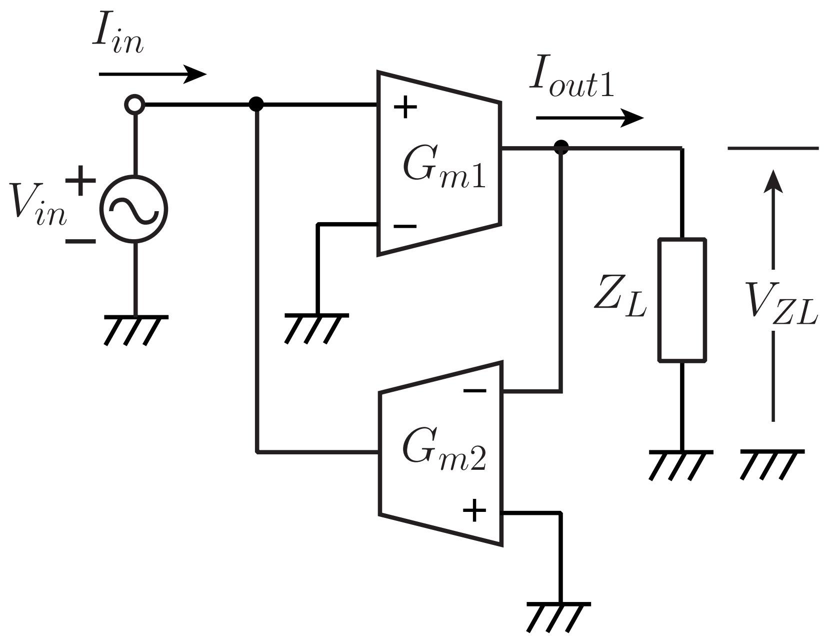
$$\cdots+\frac{G_{m\mathrm{n}}}{G_{m0}}(V_{in\mathrm{n}+}-V_{in\mathrm{n}-})$$

OTAによる積分回路の構成



$$V_{out} = \frac{1}{sC_0} I_{out1} = \frac{G_{m1}}{sC_0} V_{in}$$

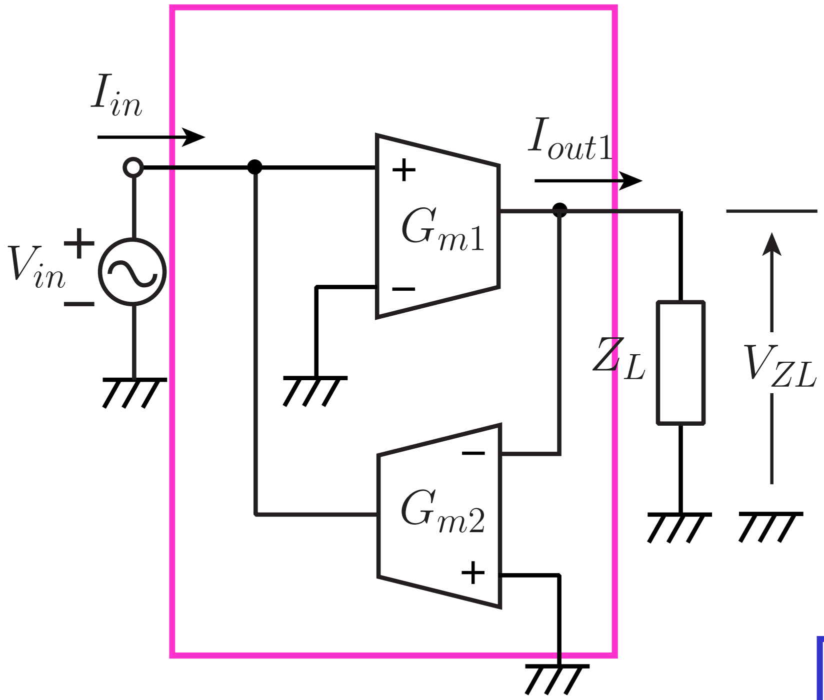
OTAによるインピーダンスの実現



$$V_{ZL}=Z_L I_{out1}=Z_L G_{m1} V_{in}$$

$$I_{in}=G_{m2} V_{ZL}$$

$$Z_{in}=\frac{V_{in}}{I_{in}}=\frac{V_{in}}{G_{m2}V_{ZL}}=\frac{V_{in}}{G_{m2}Z_L G_{m1}V_{in}}=\frac{1}{G_{m2}Z_L G_{m1}}$$



$$Z_L = \frac{1}{sC_L}$$

ジャイレータ

$$\boxed{Z_{in} = \frac{1}{G_{m2} Z_L G_{m1}} = s\frac{C_L}{G_{m1} G_{m2}}}$$

問：下の図の回路の入力インピーダンス$\dfrac{V_{in}}{I_{in}}$を求めよ.