



PMOS 定電流負荷形増幅器

解析手順

M₁の V_{GS1} を求める。

$$X_1 \quad L_{eff1} \quad (V_{GS1} - V_{thp})$$

M₂の I_{DS2} を求める。

$$X_2 \quad L_{eff2} \quad I_{DS2}$$

M₃の $V_{GS3} (= V_{IN})$ を求める。

$$(V_{GS3} - V_{thN}) \quad X_3 \quad L_{eff3}$$

収束計算

上記 で求めた動作点での各トランジスタの g_m , r_o を求める。

直流増幅度 A_v を求める。

(1) M₁の V_{GS1} を求める。

$$\Delta X_1 = \sqrt{\frac{2\epsilon_{Si}(\phi_0 + V_R)}{qN_{SUB}}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.05 \times 10^{-12} \times (0.6 + 0.8)}{1.6 \times 10^{-19} \times 6 \times 10^{14}}}$$

$$= 1.75 [\mu m]$$

ダイオード接続で

$$\begin{aligned} V_R &= V_{DS} - (V_{GS} - V_{thp}) \\ &= V_{GS} - (V_{GS} - V_{thp}) = V_{thp} \end{aligned}$$

実行チャネル長 L_{eff1} は

$$L_{eff1} = L_{MASK} - 2X_j L_D - \Delta X_1 \quad \text{-----}$$

$$= 8 - 2 \times 1 \times 0.7 - 1.75 = 4.85 [\mu m]$$

$$V_{GS1} - V_{thP} = \sqrt{\frac{2 \times I_{DS} \times L_{eff1}}{\mu_p C_{OX} W}} = \sqrt{\frac{2 \times 50 \times 10^{-6} \times 4.85 \times 10^{-4}}{500 \times 0.43 \times 10^{-7} \times 100 \times 10^{-4}}} = 0.475 [V]$$

$$\therefore V_{GS1} = 1.275 [V]$$

(2) M_2 の I_{DS2} を求める。この時出力電圧 $V_o = 0$ [V]

, 式より X_2, L_{eff2} を求めると

$$X_2 = 3.35 [\mu m] \quad L_{eff2} = 3.25 [\mu m]$$

従って M_2 に流れる電流は

$$I_{DS2} = \frac{1}{2} \times \mu_p C_{OX} \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS2} - V_{thP})^2$$

$$= 0.5 \times 500 \times 0.43 \times 10^{-7} \times \frac{100}{3.25} \times 0.475^2$$

$$= 74.6 [\mu A]$$

(3) M_3 の $V_{GS3}(=V_{IN})$ を求める。(出力電圧 $V_o = 0$ [V])

電流は M_2 と同じ $74.6 [\mu A]$ 流れ、その時出力電圧 V_o は 0 [V] となる。

入力電圧 V_{IN} を求める場合、 L_{eff3} の値が X_3 によって決まり、 X_3 は $V_{IN} (V_{GS3})$ に依存するため、それぞれについて収束計算を行う。

1回目の計算

$X_3 = 0$ とすると 式より $L_{eff3} = 6.6 [\mu m]$

$$V_{GS3} - V_{thN} = \sqrt{\frac{2 \times I_{DS3} \times L_{eff3}}{\mu_n C_{OX} W}} = \sqrt{\frac{2 \times 74.6 \times 10^{-6} \times 6.6 \times 10^{-4}}{1000 \times 0.43 \times 10^{-7} \times 100 \times 10^{-4}}} = 0.479 [V]$$

$$\Delta X_3 = \sqrt{\frac{2 \varepsilon_{Si} (\phi_0 + V_R)}{q P_{WELL}}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.05 \times 10^{-12} (0.6 + 5 - 0.479)}{1.6 \times 10^{-19} \times 4 \times 10^{15}}} = 1.296 [\mu m]$$

$$L_{eff3} = L_{MASK} - 2X_j L_D - \Delta X_3 = 8 - 2 \times 1 \times 0.7 - 1.296 = 5.304 [\mu m]$$

2回目の計算

$L_{\text{eff}3} = 5.304$ [μm] を使って1回目と同様な計算をすると

$$V_{GS3} - V_{thN} = 0.429[\text{V}] \quad \Delta X_3 = 1.303[\mu\text{m}]$$

$$L_{\text{eff}3} = 5.297[\mu\text{m}]$$

3回目の計算

$L_{\text{eff}3} = 5.297$ [μm] を使って2回目と同様な計算をすると

$$V_{GS3} - V_{thN} = 0.429[\text{V}]$$

2回目と3回目の計算が一致した。

よって V_{in} は

$$V_{\text{IN}} = V_{GS3} = 0.429 + 0.8 = 1.229[\text{V}]$$

(4) 各トランジスタの g_m , r_o を求める。

M_1 の g_m , r_o

$$g_{m1} = \sqrt{\frac{2 \times I_{DS} \mu_P C_{OX} W}{L_{\text{eff}1}}} = \sqrt{\frac{2 \times 50 \times 10^{-6} \times 500 \times 0.43 \times 10^{-7} \times 100}{4.85}} = 2.11 \times 10^{-4} [\text{S}]$$

$$r_{o1} = \frac{2 \times L_{\text{eff}1} (\phi_0 + V_R)}{I_{DS} \Delta X_1} = \frac{2 \times 4.85 \times 10^{-4} \times (0.6 + 0.8)}{50 \times 10^{-6} \times 1.75 \times 10^{-4}} = 155.2 [\text{k}\Omega]$$

M₂のg_m,r_o

$$g_{m2} = \sqrt{\frac{2 \times I_{DS2} \mu_P C_{OX} W}{L_{eff2}}} = \sqrt{\frac{2 \times 74.6 \times 10^{-6} \times 500 \times 0.43 \times 10^{-7} \times 100}{3.25}} = 3.14 \times 10^{-4} [S]$$

$$r_{o2} = \frac{2 \times L_{eff2} (\phi_0 + V_R)}{I_{DS} \Delta X_2} = \frac{2 \times 3.25 \times 10^{-4} \times (0.6 + 4.525)}{50 \times 10^{-6} \times 3.35 \times 10^{-4}} = 198.9 [k\Omega]$$

M₃のg_m,r_o

$$g_{m3} = \sqrt{\frac{2 \times I_{DS3} \mu_N C_{OX} W}{L_{eff3}}} = \sqrt{\frac{2 \times 74.6 \times 10^{-6} \times 1000 \times 0.43 \times 10^{-7} \times 100}{5.297}} = 3.48 \times 10^{-4} [S]$$

$$r_{o3} = \frac{2 \times L_{eff3} (\phi_0 + V_R)}{I_{DS3} \Delta X_3} = \frac{2 \times 5.297 \times 10^{-4} \times (0.6 + 4.521)}{74.6 \times 10^{-6} \times 1.303 \times 10^{-4}} = 558.1 [k\Omega]$$

(5) 増幅器の直流増幅度 Av を求める。

上図の PMOS 定電流負荷形増幅器の直流増幅度 Av は

$$\begin{aligned} \text{電圧増幅度 } Av &= g_{m3} (r_{o2} // r_{o3}) = 3.48 \times 10^{-4} \times (198.9 // 558.1) \\ &= 51.0 [\text{倍}] \end{aligned}$$

$$\text{電圧利得 } Gv = 20 \log 51.0 = 34.2 [dB]$$