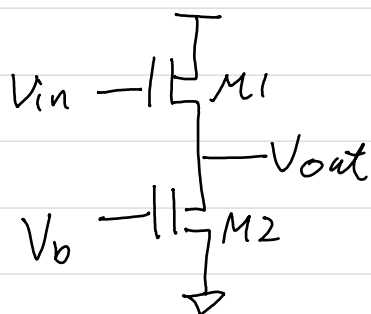


問題 7.11 γ -スワッチの入力換算 $1/f$ 雑音電圧の計算

$$|A_v| = g_{m1} R_{out}, \quad \text{p.88 参照点}$$

$$R_{out} = \left(\frac{1}{g_{m1}} \parallel \frac{1}{g_{mb1}} \parallel \underbrace{r_{o1} \parallel r_{o2}}_{\text{4+2の1長変. 同}} \right)$$

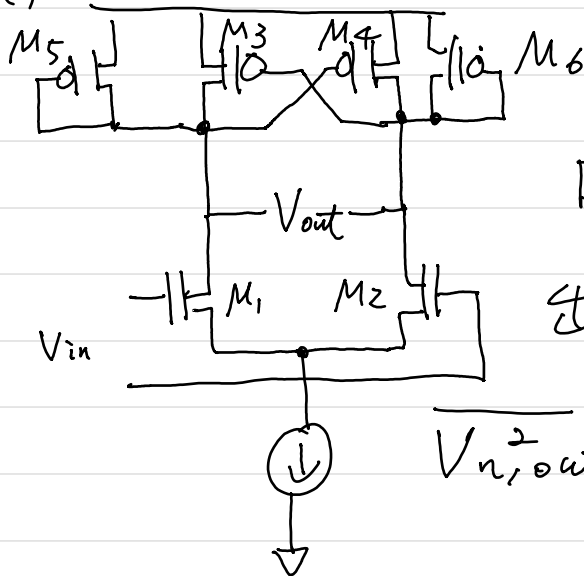
出力端における $1/f$ 雑音電圧は

$$\overline{V_{n,out}^2} = \frac{k_n}{C_{ox} f} \left(\frac{g_{m1}^2}{W_1 L_1} + \frac{g_{m2}^2}{W_2 L_2} \right) R_{out}^2$$

$$\therefore \overline{V_{n,in}^2} = \frac{k_n}{C_{ox} f} \left(\frac{1}{W_1 L_1} + \frac{g_{m2}^2}{W_2 L_2 g_{m1}^2} \right)$$

問題 7.12 入力換算熱雑音電圧の計算

(a)



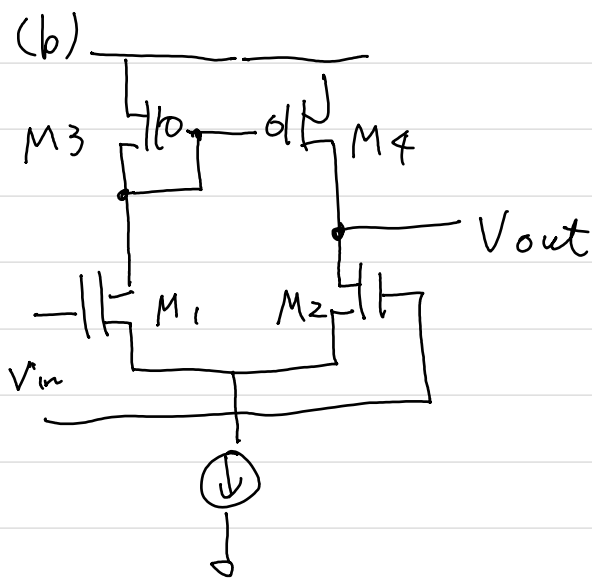
$$g_{m3,4} = 0.5 g_{m5,6} \text{ とする}$$

$$\text{回路の利得は } |A_v| = g_{m1} R_{out}$$

出力端で観測される雑音電圧は

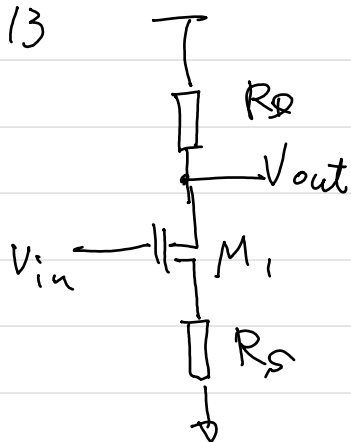
$$\overline{V_{n,out}^2} = 4kT \frac{2}{3} (g_{m1} + g_{m2} + g_{m3} + \dots + g_{m6}) \times R_{out}^2$$

$$\therefore \overline{V_{n,in}^2} = 4kT \frac{2}{3} \left(\frac{2}{g_{m1}} + \frac{3g_{m5}}{g_{m1}} \right)$$



同様に $\overline{V_{n,in}^2} = 4kT \frac{2}{3} \left(\frac{2}{g_{m1}} + \frac{2g_{m3}}{g_{m1}^2} \right)$

問題 7.13



a) $\lambda = \gamma = 0$ として入力熱雑音を求める。

$$|A_v| = \frac{R_D}{1 + g_{m1} R_S} \quad (3.57) \text{参照}$$

$$\overline{V_{n,out}^2} = 4kT R_D + 4kT \frac{2}{3} \frac{1}{g_{m1}} |A_v|^2 + 4kT \frac{1}{R_S} \left(\frac{R_D}{R_S + \frac{1}{g_{m1}}} \right)^2 R_D^2$$

M1の雑音

補助定理に従い、雑音電流をゲート電圧に換算し、かつ回路の利得を乗じること

$$\overline{V_{n,out,M1}^2} = 4kT \frac{2}{3} \frac{A_v^2}{g_{m1}}$$

R_S の雑音電流の出力端への寄与は

$$\overline{V_{n,out,R_S}^2} = 4kT \frac{1}{R_S} \left(\frac{g_{m1} R_D}{1 + g_{m1} R_S} \right)^2 R_S \quad \begin{matrix} \overline{V_{n,R_S}^2} \text{に} \\ \text{変換} \\ |A_v|^2 \end{matrix}$$

2023 . 01 . 25
線形性の要求から R_S における DC 電圧降下は M_1 のオーバードライブ電圧と等しいとある。この時の R_S と M_1 の熱雑音を求める。

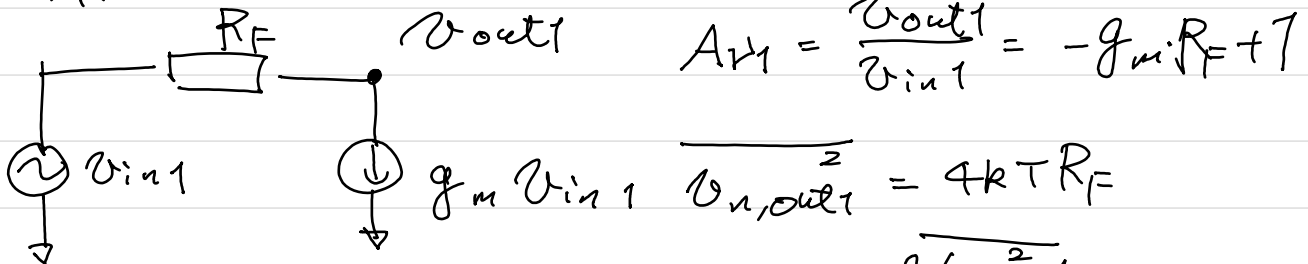
$$b) \quad I_D R_S = V_{GS1} - V_{TH1} \quad \therefore R_S = \frac{V_{GS1} - V_{TH1}}{I_D}$$

$$g_{m1} = \frac{2I_D}{V_{GS1} - V_{TH1}} = \frac{2}{R_S} \quad (2.19) \text{参照}$$

$$\therefore 4kT \left(\frac{2}{3} g_{m1} \right) = 4kT \frac{R_S}{3} \leftarrow M_1 \text{ の熱雑音}$$

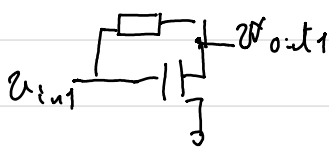
$$\rightarrow 4kTR_S \leftarrow R_S \text{ の熱雑音}$$

問題 7.14



$$A_{v1} = \frac{v_{out1}}{v_{in1}} = -g_m R_F + 1$$

$$\overline{v_{n,out1}^2} = 4kTR_F$$

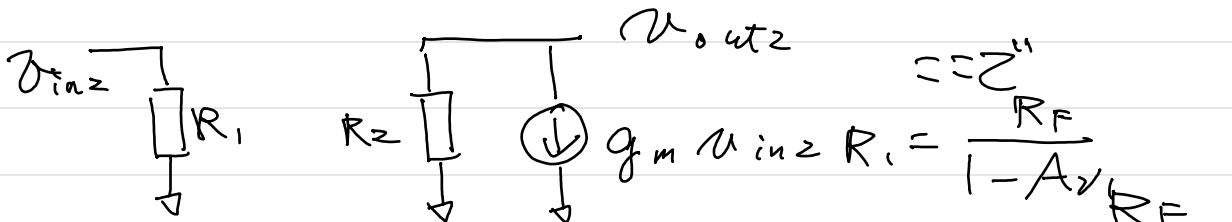


$$-g_m v_{in1} = \frac{v_{out1} - v_{in1}}{R_F}$$

$$\overline{v_{n,in}^2} = \frac{\overline{v_{n,out}^2}}{|A_{v1}|^2}$$

$$= 4kTR_F \left(-\frac{1}{g_m R_F + 1} \right)^2$$

サミラー定理によりインピーダンスを分割すると



$$= Z'$$

$$R_2 = \frac{R_F}{1 - A_{v1}}$$

$$A_{v2} = \frac{v_{out2}}{v_{in2}} = -g_m R_2$$

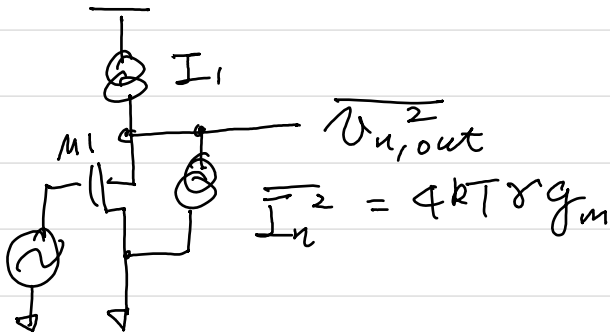
$$= g_m \frac{R_F}{1 - A_{v1}} = 1 - g_m R_F = A_{v1}$$

$$\overline{v_{n,out2}^2} = 4kTR_2 \quad \overline{v_{n,in}^2} = \frac{\overline{v_{n,out2}^2}}{|A_{v2}|^2} = 4kT \frac{1}{g_m} \left(\frac{-1}{-g_m R_F + 1} \right)$$

$\overline{v_{in1}^2}$ と $\overline{v_{in2}^2}$ の 2 つのノイズ定理は適用できない。

問題 7.15 外部負荷が電流源の時の帯域幅 50MHz の出力熱雑音電圧の算出。

P.258 の式 (7.26) を用いる。



$$\overline{v_{n,out}^2} = 4kT \left(\frac{2}{3} g_m \right) r_o^2$$

$$= (1.656 \times 10^{-23} \text{ V} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}) \times (4.44 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}}) (20 \text{ k}\Omega)^2$$

$$g_m = 4.44 \mu\text{S} (= \text{mA/V})$$

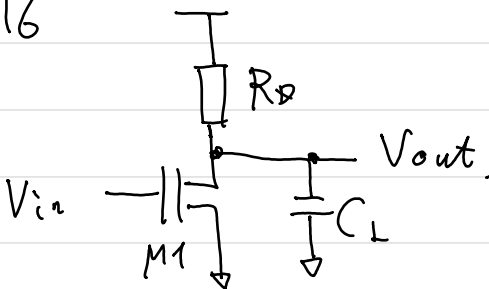
$$r_o = 20 \text{ k}\Omega \text{ とする}$$

$$= 19.6 \times 10^{-15} \frac{\text{V}^2}{\text{Hz}}$$

$$\overline{v_{n,out,tot}} = \sqrt{(19.6 \times 10^{-15} \frac{\text{V}^2}{\text{Hz}}) (50 \text{ MHz})}$$

$$\sim 990 \mu\text{V}_{\text{rms}}$$

問題 7.16 以下の回路の出力の熱雑音及 1/f 雑音を算出する。
回路の利得は



$$|A_v|^2 = \frac{[g_m (R_D || r_o)]^2}{1 + (2\pi (R_D || r_o) C_L f)^2}$$

出力の熱雑音は.

$$\overline{V_{n, out}^2} = 4kT \underbrace{\frac{(R_D \parallel r_o)^2}{R_D}}_{\text{}} \frac{1}{1 + (2\pi(R_D \parallel r_o)C_L f)^2} +$$

R_D の寄与は

出力インピーダンス
との比率倍
される.

$$4kT \frac{2}{3} g_m (R_D \parallel r_o)^2 \frac{1}{1 + (2\pi(R_D \parallel r_o)C_L f)^2} +$$

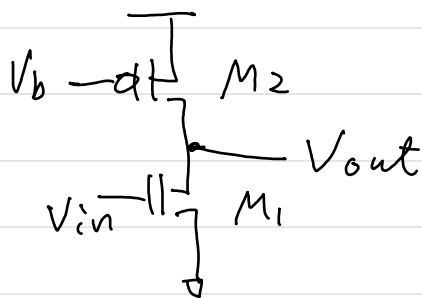
$$\frac{k}{C_{ox} W_L} g_m^2 (R_D \parallel r_o)^2 \frac{1}{1 + (2\pi(R_D \parallel r_o)C_L f)^2}$$

各項に対して周波数
依存の項が付く.

問題 7.17

回路の入力換算熱雑音は

$$\overline{V_{n, in}^2} = 4kT \frac{2}{3} \left(\frac{1}{g_{m1}} + \frac{g_{m2}}{g_{m1}^2} \right) \quad (7.59)$$



$$g_{m1} = \sqrt{2I_D \frac{W}{L} C_{ox} \mu_n}$$

$$g_{m2} = \sqrt{2I_D \frac{W}{L} C_{ox} \mu_p}$$

NMOS の $\mu = 350 \text{ [cm}^2\text{/Vs]}$, $t_{ox} = 9 \times 10^{-9} \text{ [m]}$

PMOS の $\mu = 100 \text{ [cm}^2\text{/Vs]}$, $t_{ox} = 9 \times 10^{-9} \text{ [m]}$

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_0}{t_{ox}} = \frac{3.5 \times 10^{-13} \text{ [F/cm]}}{9 \times 10^{-9} \text{ [m]}} = 3.9 \text{ [fF/}\mu\text{m}^2\text{]}$$

$$(\mu C_{ox})_n = 350 \text{ [cm}^2\text{/Vs]} \times 3.9 \text{ [fF/}\mu\text{m}^2\text{]} = 136.5 \text{ [}\mu\text{A/Ve]}$$

$$(\mu C_{ox})_p = 100 \times 3.9 = 39 \text{ [}\mu\text{A/Ve]}$$

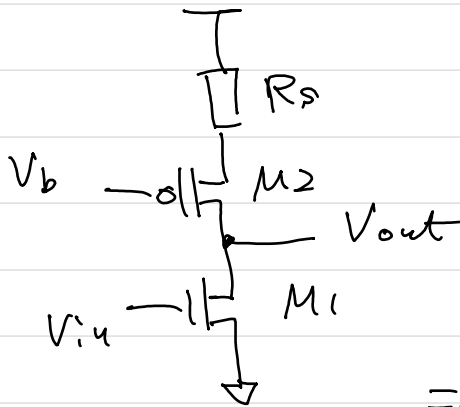
$$\left(\sqrt{2 \times (0.5 \text{ mA}) \times (136.5 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}) \times \left(\frac{50}{0.5}\right)} \right)$$

$$\therefore g_{m1} = 4.44 \frac{\text{mA}}{\text{V}}, \quad g_{m2} = 2.36 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$\therefore \overline{V_{n, \text{in}}^2} = (1.656 \times 10^{-20} \text{ V} \cdot \text{C}) \left(\frac{2}{3}\right) (225.23 \Omega + 119.71 \Omega) \\ \sim 3.81 \times 10^{-18} \text{ V}^2/\text{Hz}$$

問題 7.18

a) 入力換算熱雑音



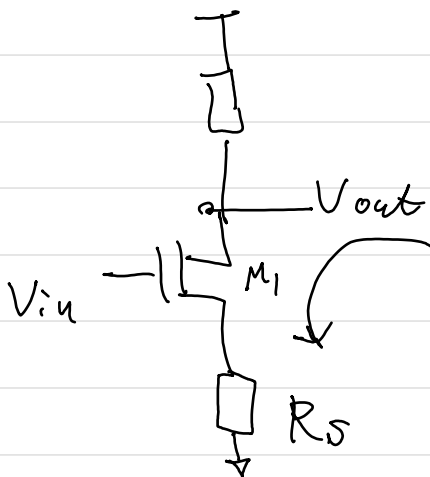
$$|A_v| = g_{m1} R_{out}$$

$$R_{out} = r_{o1} \parallel (R_s + (1 + g_{m2} R_s) r_{o2})$$

この式は (3.55) などにご覧になって

ex)

今 Vout から M1 を見込んだときの
抵抗というのは



$$[R_s + (1 + g_{m1} R_s) r_{o1}]$$

と書ける

$$\overline{V_{n, \text{out}}^2} = \underbrace{\left[4kT \frac{1}{R_s} \left(\frac{R_s}{R_s + \frac{1}{g_{m2}}} \right)^2 + 4kT \frac{2}{3} \frac{1}{g_{m2}} \left(\frac{g_{m2}}{1 + g_{m2} R_s} \right)^2 \right]}_{\substack{\text{M1 の } R_s \text{ の寄与} \\ \text{M2 の } R_s \text{ の寄与}}} \underbrace{R_{out}^2}_{\substack{\text{M1 の } R_s \text{ の寄与}}} \\ \text{問題 (7.6)(a) と同じ}$$

R_S の容許に関しては 問題 7.13 の例でも説明
されたように

$$\overline{V_{n,in,R_S}^2} = 4kT \underbrace{\left[\frac{1}{R_S} \left(\frac{R_S}{R_S + \frac{1}{g_{m1}}} \right)^2 \right]}_{\text{この部分}} \cdot R_D^2$$

M_2 の容許に関しては 問題 7.13 では

$$\overline{V_{n,in,M_2}^2} = 4kT \frac{2}{3} g_{m2} \frac{1}{g_{m2}} |A_v|^2$$

$$\left(|A_v| = \frac{g_{m2}}{1 + g_{m2} R_S} \cdot R_D \right)$$

$$= 4kT \frac{2}{3} \frac{1}{g_{m2}} \left(\frac{g_{m2}}{1 + g_{m2} R_S} \right)^2 R_D^2$$

と表現されていることを思い出そう。

この部分が
 R_{out} に
なるだけ。

$$\text{従って } \overline{V_{n,in}^2} = \frac{\overline{V_{n,out}^2}}{|A_v|^2}$$

$$= 4kT \left[\frac{2}{3} \frac{1}{g_{m1}} + R_S \left(\frac{g_{m2}}{1 + g_{m2} R_S} \right)^2 \frac{1}{g_{m1}^2} + \frac{2}{3} \frac{g_{m2}}{g_{m1}^2} \left(\frac{1}{1 + g_{m2} R_S} \right)^2 \right]$$

(解)

(b) R_S を大きく設定すれば良い。

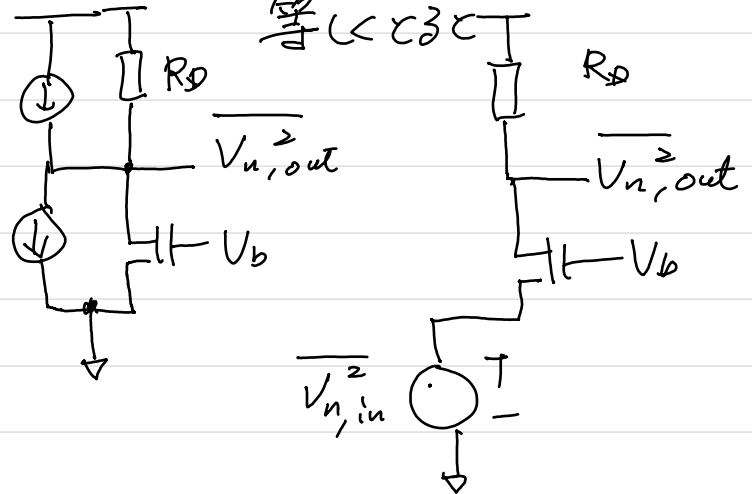
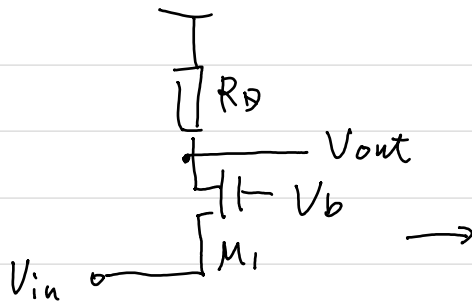
任意のバイアス電圧と出力電圧振幅について入力換算熱雑音と
最小にする R_S の値を求める。

ゲート接地段において NMOS を $\frac{W}{L} = \frac{50}{0.5}$, $I_D = 1 \text{ mA}$
 $R_D = 1 \text{ k}\Omega$ とした時の入力換算熱雑音電圧及び電流

問題 7.19

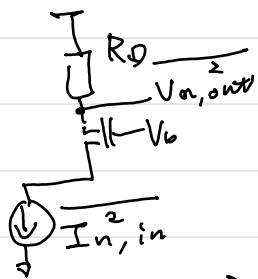
ゲート接地段として下図を考える。

教科書 p. 277 を参考に入力をグランドに
 短絡した回路と右図の出力雑音を
 等しくする



$$\left(4kT \frac{2}{3} g_{m1} + \frac{4kT}{R_D} \right) R_D^2 = \overline{V_{n,in}^2} (g_m + g_{mb})^2 R_D^2$$

$$\overline{V_{n,in}^2} = \frac{4kT \left(\frac{2}{3} g_m + \frac{1}{R_D} \right)}{g_m} \quad (7.66)$$



$$\overline{I_{n,in}^2} = \frac{4kT}{R_D} \quad (7.67)$$

$$g_m = \sqrt{2 \times (1 \text{ mA}) \times \left(\frac{136.5 \text{ } \mu\text{A}}{V^2} \right) \times \frac{50}{0.5}}$$

$$= \sqrt{27.3 \frac{\text{mA}^2}{V^2}} = 5.22 \text{ mS}$$

$$\overline{V_{n,in}^2} = (1.656 \times 10^{-20} \text{ V}^2) \left(\frac{2}{3} \cdot 191.5 \text{ } \Omega + 36.69 \text{ } \Omega \right)$$

$$\overline{I_{n,in}^2} = \frac{(1.656 \times 10^{-20} \text{ V}^2)}{1 \text{ k}\Omega} = 16.56 \times 10^{-24} \frac{\text{A}^2}{\text{Hz}}$$

2023. 03. 08

$(W/L)_1 = \frac{50}{0.5}$, $I_{D1} = I_{D2} = 0.05 \text{ mA}$, $R_D = 1 \text{ k}\Omega$ とし設計した。

問 7.20 入力換算電流 $I_{n,in}$ に対する M_2 の寄与が R_D の $\frac{1}{5}$ になるような $(W/L)_2$ の定めろ。

例は 7.12 の結論として

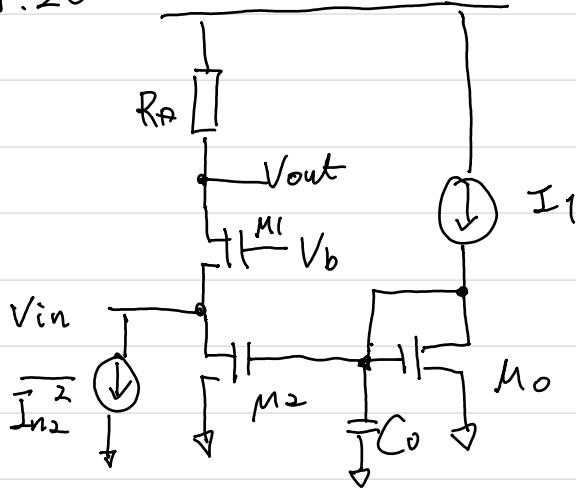
(7.71) をみると

$$\overline{I_{n,in}^2} = 4kT \frac{2}{3} (g_{m2} + g_{m3})$$

となっていて ~~雑音~~ は電流源

の和となっていることから類推

して $\rightarrow$ トランスコンダクタンスの



$$\overline{I_{n,in}^2} = 4kT \frac{1}{R_D} + 4kT \frac{2}{3} g_{m2} \quad (\text{カスコードは「1/2」に寄与(50)})$$

$$\overline{I_{n,in}} = \sqrt{4kT \left(\frac{1}{R_D} + \frac{2}{3} g_{m2} \right)}$$

$$\therefore \frac{2}{3} g_{m2} = \left(\frac{1}{5} \right)^2 \left(\frac{1}{R_D} \right)$$

$$\Rightarrow g_{m2} = \left(\frac{1}{25} \right) \left(\frac{1}{1000} \right) \left(\frac{3}{2} \right) = 60 \left[\frac{\mu A}{V} \right]$$

$$\left(\frac{W}{L} \right)_2 = \frac{g_{m2}^2}{2I_D \mu_n C_{ox}} = \frac{(60 \mu A)^2}{2(0.05 \text{ mA})(134.29 \mu A/V^2)}$$

$$= 0.268 \approx$$

(b) 式(2.19) $g_{m2} = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_{th})}$

M_2 を三極管領域の端: $(V_{GS} - V_{th})_2 = \frac{2I_D}{g_m} = \frac{2 \times 0.05 \text{ mA}}{60 \mu A/V} \approx 1.67 \text{ V}$
バイパスする最小の V_b を

求めろ。

M_1, M_2 は共に

飽和領域にある。

$$(V_{GS} - V_{th})_1 = \sqrt{\frac{2I_D}{\mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_1}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.05}{134.29 \left(\frac{50}{0.5} \right)}} \approx 1.2 \text{ V}$$

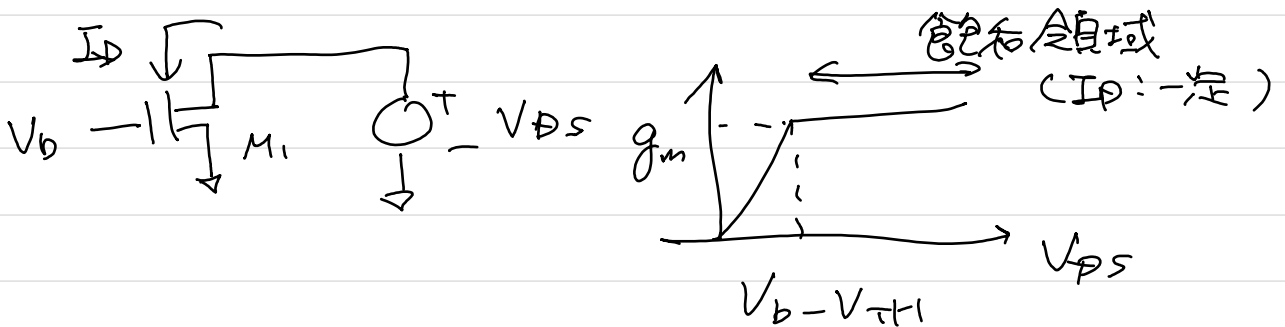
$$V_b = (V_{gs} - V_{th})_1 + V_{gs1}$$

$$= 1.67 + 0.0712 + 0.7 = 2.44 \text{ V}$$

出力振幅は

$$V_{CC} - (V_{gs} - V_{th})_1 - (V_{gs} - V_{th})_2$$

$$= 3 - 1.67 - 0.0712 = 1.25 \text{ V}$$



デバイスが3極領域に入ると g_m は下がって増幅のためには MOSFET を飽和領域で使う。

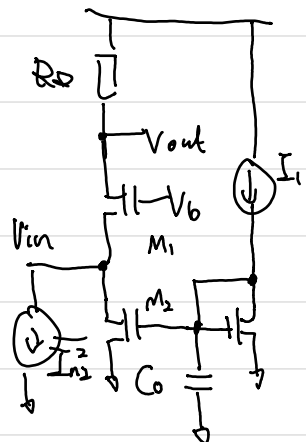
問題 7.21

$I_{D1} = I_{D2} = 0.5 \text{ mA}$ とし入力換算熱雑音電圧を $3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ かつ式(7.66)より出力振幅を最大となるように設計する (or (7.76)式で $\frac{1}{g_{m2}}$ を R_D でおきかえてもよい)

$$\overline{V_{n, in}^2} = 4kT \left(\frac{2}{3} \frac{1}{g_{m1}} + \frac{1}{g_{m2}^2 R_D} \right)$$

(M_2 のドレイン雑音電流は R_D を流れず入力換算雑音電圧には寄与しない)

$$\overline{V_{n, in}} = 3 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \therefore \frac{2}{3} \frac{1}{g_{m1}} + \frac{1}{g_{m2}^2 R_D} = 543.4 \text{ } \Omega$$



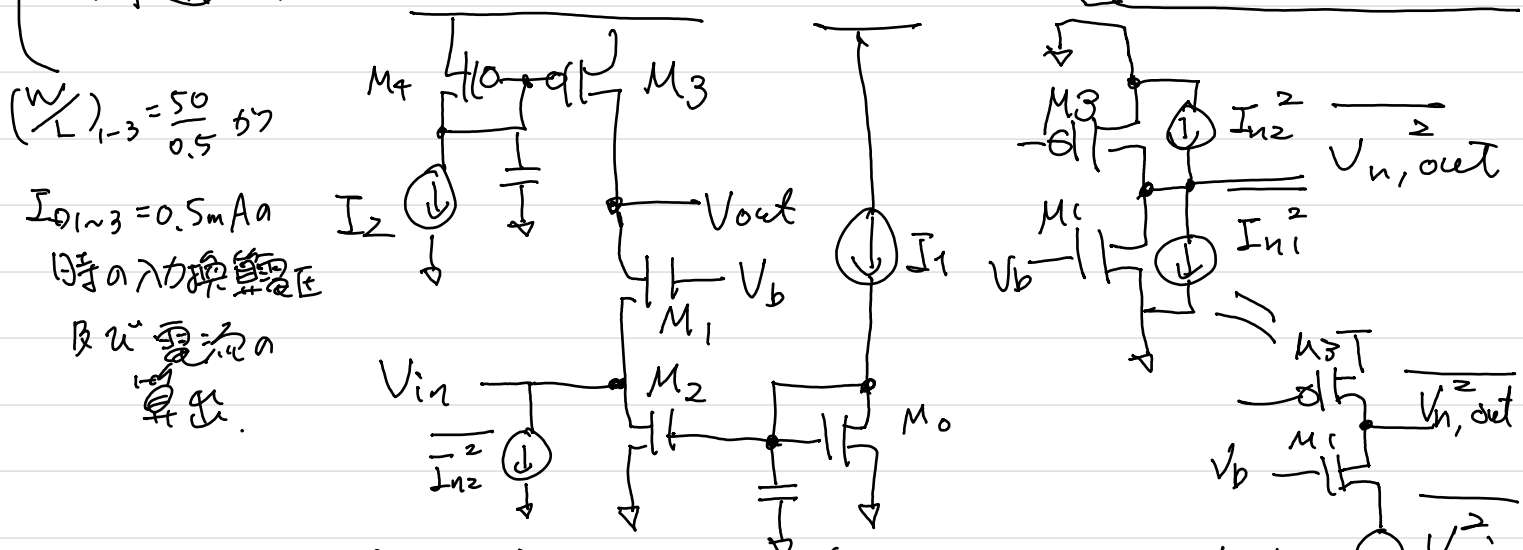
$$R_D = 1\text{k}\Omega \text{ と選ぶ.}$$

$$g_{m1} = g_{m2} \text{ を仮定すると } g_{m1} = 2.1\text{mS}$$

$$\text{出力振幅は } 2 \cdot I_D R_D = 0.5\text{mA} \cdot 1\text{k}\Omega \times 2 = 2\text{V}.$$

問題 7.22

ゲート接地段の解法



入力換算雑音電圧を計算するため入力を接地し式を得る.

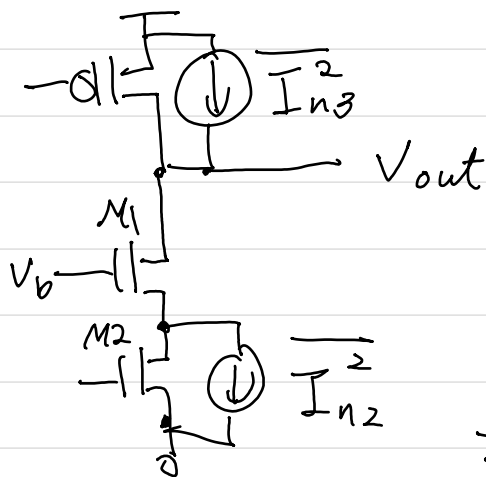
$$\overline{V_{n,out}^2} = 4kT \frac{2}{3} (g_{m1} + g_{m3}) (r_{o1} \parallel r_{o3})^2$$

従って入力換算雑音電圧は以下を満たさねばならない

$$\overline{V_{n,in}^2} g_{m1}^2 (r_{o1} \parallel r_{o3})^2 = 4kT \frac{2}{3} (g_{m1} + g_{m3}) (r_{o1} \parallel r_{o3})^2$$

$$\therefore \overline{V_{n,in}^2} = 4kT \frac{2}{3} \frac{(g_{m1} + g_{m3})}{g_{m1}^2} \quad \uparrow \quad (7.65)$$

入力換算雑音電流を求めるためには入力をopenにして出力雑音電圧が



$(\overline{I_{n2}^2} + \overline{I_{n3}^2}) R_{out}^2$ として与えられ
ここに着目する。

$= \overline{V_{n, in}^2} R_{out} \sim r_{o3} \parallel (g_{m1} r_{o1} r_{o2})$
であり、入力をopenにしたときの
出力インピーダンスをさす

$$\overline{I_{n, in}^2} = 4kT \frac{2}{3} (g_{m2} + g_{m3})$$

$$g_{m1} = g_{m2} = \sqrt{2(0.5 \mu A) \left(134.29 \frac{\mu A}{V^2} \right) \left(\frac{50}{0.5} \right)}$$

$$= 4.47 \frac{mA}{V}$$

$$g_{m3} = \sqrt{2(0.5 \mu A) \left(38.37 \frac{\mu A}{V^2} \right) \left(\frac{50}{0.5} \right)}$$

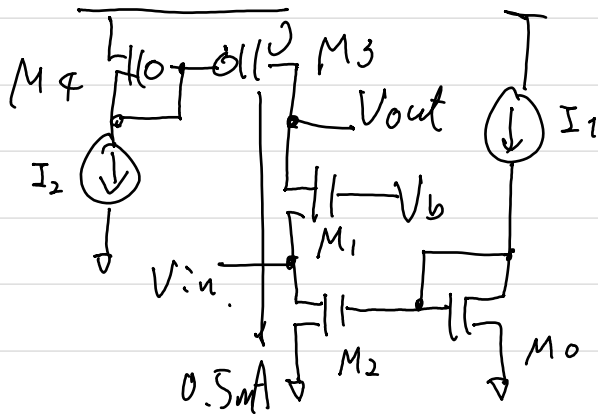
$$= 2.38 \frac{mA}{V}$$

$$\therefore \overline{V_{n, in}^2} = 3.82 \times 10^{-18} \frac{V^2}{Hz}$$

$$\overline{I_{n, in}^2} = 75.3 \times 10^{-24} \frac{A^2}{Hz}$$

③ 入力換算電圧と電流の求め方は② p.277 の図7.38
を参照

問題 7.23.



$$\left(\frac{W}{L}\right)_1 = \frac{50}{0.5}$$

$$I_{D1-3} = 0.5 \text{ mA}$$

$$V_{\text{swing}} = 2V \text{ くらいある}$$

オーバードライブ電圧を引いたものが
振幅になる。

$$V_{\text{swing}} = V_{DD} - V_{e3} - V_{e2} - V_{e1}$$

$$V_{\text{swing}} = 2V, V_{DD} = 3V \text{ くらい}$$

$$\text{教科書 (7.71)} \quad \overline{I_{n, in}^2} = 4kT \frac{2}{3} (g_{m2} + g_{m3})$$

$$g_{m1} = \sqrt{2 \times (0.5 \text{ mA}) \left(\frac{50}{0.5}\right) (134.29 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2})} = 3.66 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$1 \text{ mA} \times 100 \times 134.29 \times 10^{-3} \text{ mA}$$

$$10 \sqrt{134.29 \times 10^{-3}}$$

$$g_m = \sqrt{2 \underbrace{\mu_n C_{ox}}_{134.29 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}} \frac{W}{L} I_D}$$

$$\overline{I_{n, in}^2} = 4kT \frac{2}{3} \cdot 2I_D \left(\frac{V_{e2} + V_{e3}}{V_{e2} V_{e3}} \right)$$

これを最小にするためには $V_{e2} = V_{e3}$

$$(\text{π-バ-パイワ'電圧})$$

$$= (V_{gs} - V_{th})_1$$

$$V_{e1} = \frac{2I_D}{g_m} = \frac{2 \times 0.5 \text{ mA}}{3.66 \frac{\text{mA}}{\text{V}}} = 0.27 \text{ V}$$

$$V_{e2} = V_{e3} = \frac{0.73}{2} = 365 \text{ mV}$$

$$\rightarrow g_{m2} = g_{m3} = \frac{2 \times 0.5 \text{ mA}}{0.365 \text{ V}} = 2.74 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_2 = \frac{(g_{m2})^2}{2I_D \mu_n C_{ox}} \quad \text{とせよ} (\approx 49.7)$$

134.29 $\frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}$ を使う

$$\left(\frac{W}{L}\right)_3 = \frac{(g_{m3})^2}{2I_D \mu_p C_{ox}} \quad (\approx 174)$$

38.37 $\frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}$ を使う

問題 7.24. V_{DS} のバイアス電流 0.1 mA , 出力抵抗 100Ω の時の $(W/L)_1$ の算出

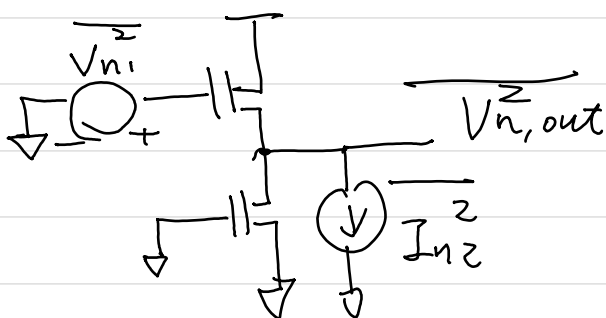
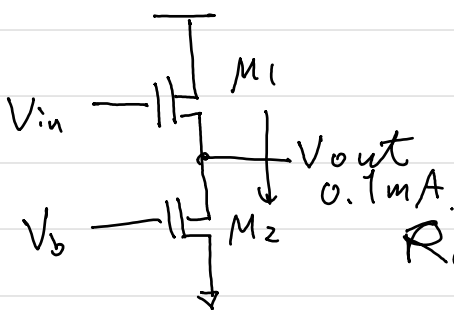
$$(a) \quad R_{out} = \frac{1}{g_{m1}} = \frac{1}{\sqrt{2I_D \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_1}}$$

$$= 100 \Omega$$

$$R_{out} = 100 \Omega \quad \left(\frac{W}{L}\right)_1 = \frac{1}{2I_D \mu_n C_{ox} R_{out}^2}$$

$$= \frac{1}{2(0.1 \text{ mA})(134.29 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}) \times (100 \Omega)^2}$$

$$= 37.23$$



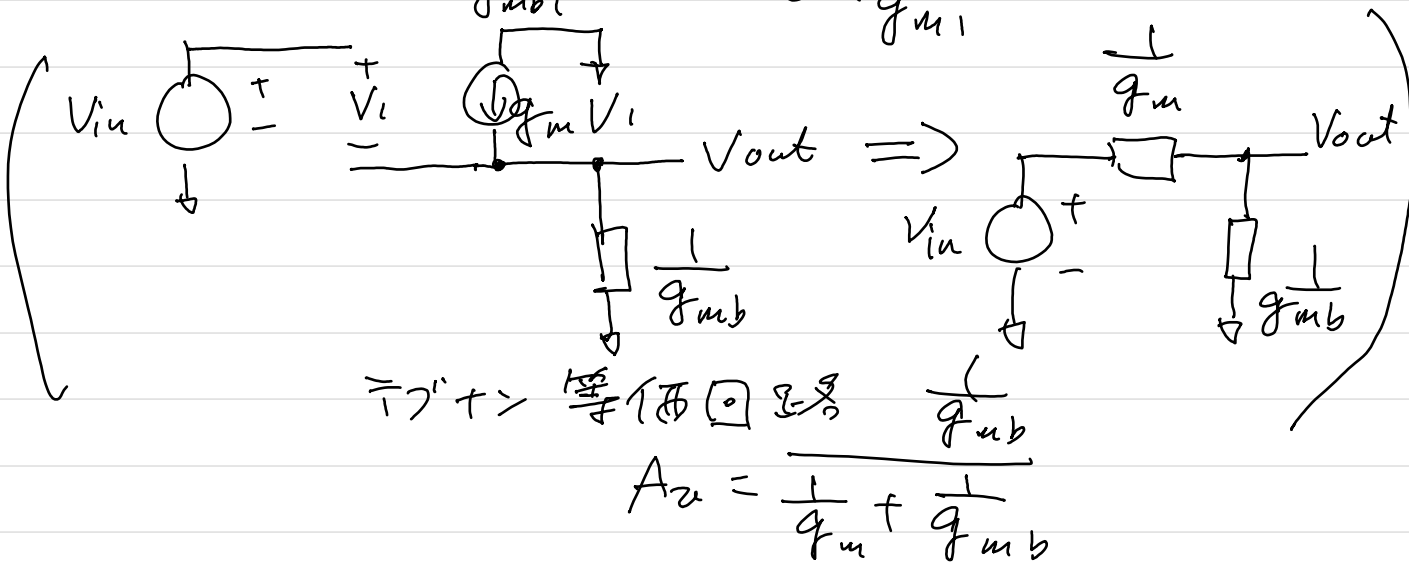
入力換算電圧 V_{n1} の M_2 の寄与が M_1 の $1/5$ に等しい
 $(W/L)_2$ の算出.

61. (7.79)でY-ポートの全入力換算電圧が与えられている

M_2 による出力雑音は

$$\overline{V_{n,out}^2} = \overline{I_{n2}^2} \left(\frac{1}{g_{m1}} \parallel \frac{1}{g_{mb1}} \parallel r_{o1} \parallel r_{o2} \right)^2$$

$$A_v = \frac{\frac{1}{g_{mb1}} \parallel r_{o1} \parallel r_{o2}}{\frac{1}{g_{mb1}} \parallel r_{o1} \parallel r_{o2} + \frac{1}{g_{m1}}} \quad \text{M1の基板効果}$$



したがって全入力換算雑音電圧は

$$\overline{V_{n,in}^2} = \overline{V_{n1}^2} + \frac{\overline{V_{n,out}^2}}{A_v^2}$$

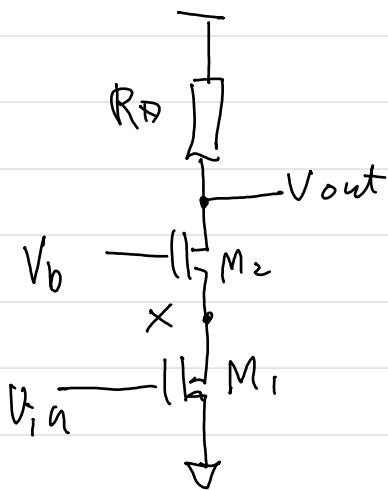
$$= 4kT \frac{2}{3} \left(\frac{1}{g_{m1}} + \frac{g_{m2}}{g_{m1}^2} \right) \dots (7.79)$$

$$\frac{g_{m2}}{g_{m1}^2} = \left(\frac{1}{5} \right)^2 \frac{1}{g_{m1}} \rightarrow g_{m2} = \left(\frac{1}{5} \right)^2 g_{m1} = \frac{1}{250 \mu\text{m}}$$

$$(V_{GS} - V_{th})_2 = \frac{2I_D}{g_{m2}} = 0.5V$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_2 = \frac{(g_{m2})^2}{2I_D \mu_n C_{ox}} = 59.6$$

問題 7.25. カスコード段は接点Xにおいて対グラウンド容量 C_x を持つ。
他の容量を無視して入力換算電圧を求める。
カスコード段を加えた増幅率は



$$|A_v|^2 = g_{m1}^2 g_{m2}^2 \left(\frac{1}{1 + g_{m2}^2} \right)^2 R_D^2$$

高い周波数では接点Xにおける
全容量 C_x による ($\omega = 2\pi f$)

$$|A_v|^2 = g_{m1}^2 \left(\frac{g_{m2}}{\omega C_x} \right)^2 \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{g_{m2}}{\omega C_x} \right)^2} \right)^2 R_D^2$$

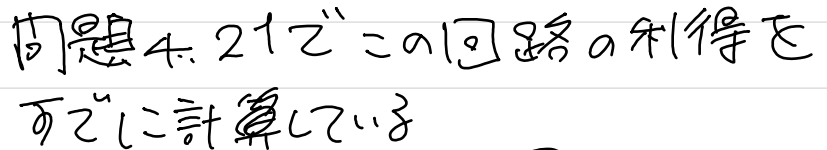
$$\overline{V_{n,out}^2} = \left[4kT \frac{1}{R_D} + 4kT \frac{2}{3} \frac{1}{g_{m2}} \frac{g_{m2}^2}{1 + \left(\frac{g_{m2}}{\omega C_x} \right)^2} + \right.$$

$$\left. 4kT \frac{2}{3} g_{m1} \left(\frac{g_{m2}}{\omega C_x} \right)^2 \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{g_{m2}}{\omega C_x} \right)^2} \right) \right]$$

$$g_{m2} \times \left(\frac{1}{\frac{1}{g_{m2}} + \frac{1}{C_x \omega}} \right) \Rightarrow \frac{g_{m2}}{1 + \frac{g_{m2}}{C_x \omega}}$$

問題 7.26.

M3は差動ノイズには影響ない



この利得は (b) も同じ

$$\overline{V_{n,out}^2} = \left[2(4kT) \frac{1}{R_1} + 2(4kT \frac{2}{3}) \frac{1}{g_{m1}} \left(\frac{g_{m1}}{1+g_{m1}R_S} \right)^2 + 2(4kT \frac{1}{R_S}) \left(\frac{R_S}{\frac{1}{g_{m1}} + R_S} \right)^2 \right] R_1^2$$

cb1 省略