11 NOV

Esempi di progetto completo date alcune specifiche

esempio

Specifica su offset

$\sigma_{V_{io}} \leq 1\,mV$
$GBW \geq 10\,MHz$
$C_L = 10\,pF$
$\varphi_M \simeq 70° \longrightarrow \alpha = 3$
minimo ingombro

non ci sono regole precise, possono esserci strade diverse, in base a quale precedenza tra le specifiche scelgo

1) partiamo da specifica sull'offset

$$\sigma_{V_{io}}^2 = \frac{A}{W_1 L_1} + \frac{B}{W_3 L_3} \quad \text{con} \quad \begin{array}{l} A \propto (V_{GS}-V_t)_1 \\ B \propto (V_{GS}-V_t)_3\,,\ F \end{array}$$

fisso $(V_{GS}-V_t)_1$ al minimo per la forte inversione $\rightarrow (V_{GS}-V_t)_1 = 100\,mV$

fisso fattore F per ridurre contributo specchio $\rightarrow F = \frac{1}{3} \rightarrow (V_{GS}-V_t)_3 = 300\,mV$

in questo modo calcolo A e B, con parametri di processo $C_{\frac{\Delta V_t}{V_t}}$ e $C_{\frac{\Delta\beta}{\beta}}$

$$A = 74{,}5 \cdot 10^{-6} \; V^2/\mu m^2$$
$$B = 10{,}28 \cdot 10^{-6} \; V^2/\mu m^2$$

il contributo di B, con bassa tensione di overdrive del M1, è concentrato sul fattore $C_{V_{t_n}}$

$$B = \cancel{\frac{(V_{GS} - V_t)^2}{4}} C_{\beta_n}^2 + \underline{F^2 C_{V_{t_n}}^2}$$

in A stesso discorso

$$A = \cancel{\frac{(V_{GS} - V_t)^2}{4}} C_{\beta_p}^2 + \underline{C_{V_{t_p}}^2}$$

dipendenza da $C_{V_{t_n}}$ e $C_{V_{t_p}}$

la specifica $\sigma_{V_{io}}^2 = \frac{A}{\boxed{W_1 L_1}} + \frac{B}{\boxed{W_3 L_3}}$

fissati

devo decidere l'area dei mos M1M2 e M3M4

una equazione, 4 variabili!
cerco di ridurre il più possibile l'area per rientrare nella specifica $\sigma_{V_{io}}^2$

$S = W_1 L_1 + W_3 L_3 = x + y$ con $a = \frac{y}{x}$ rapporto aree specchio-coppia

obiettivo: minimizzare S in modo da verificare la specifica su offset

$$S = x\,(1 + a)$$

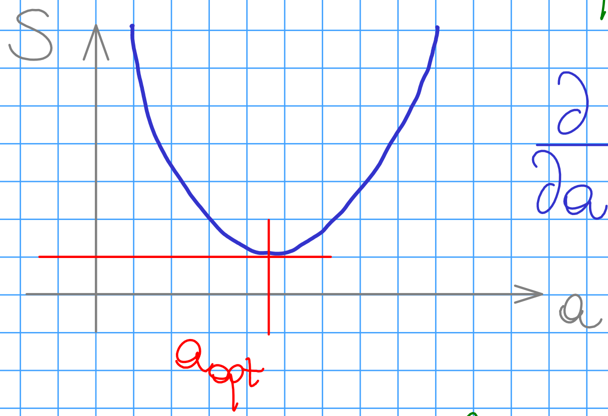
ingombro inversamente prop. a offset

$$\sigma^2_{v_{io}} = \frac{A}{x} + \frac{B}{y} = \frac{A}{x} + \frac{B}{ax} \longrightarrow \boxed{x = \frac{1}{\sigma^2_{v_{io}}}\left(A + \frac{B}{a}\right)}$$

quindi
$$S = \frac{1}{\sigma^2_{v_{io}}}\left(A + \frac{B}{a}\right)(1 + a) = \frac{1}{\sigma^2_{v_{io}}}\left(A + \boxed{aA + \frac{B}{a}} + B\right)$$

(classica forma delle ottimizzazioni

derivo in a e cerco punto di minimo



$$\frac{\partial S}{\partial a} = \frac{1}{\sigma^2_{v_{io}}}\left(A - \frac{B}{a^2}\right) = \emptyset \longrightarrow a_{opt} = \sqrt{\frac{B}{A}}$$

con A e B fissati $\longrightarrow a_{opt} \approx 0{,}37 \longrightarrow W_1 L_1 = a_{opt} W_3 L_3$

concorde con F
per ridurre peso
specchio

$$W_1 L_1 = 108\ \mu m^2$$

$$W_2 L_2 = 38\ \mu m^2$$

piccola digressione $\rightarrow$ posso riutilizzare passaggi per **ridurre il rumore flicker**

$$\text{flicker} \rightarrow S_{V_F} = 2\left(\frac{N_{fp}}{W_1 L_1} + F^2 \frac{N_{fn}}{W_3 L_3}\right) \rightarrow a_{opt} = \sqrt{\frac{F^2 N_{fn}}{N_{fp}}}$$

fissati $W_1 L_1$ e $W_3 L_3$ $\rightarrow$ come imposto i due rapporti $\frac{W}{L}$?

$\rightarrow$ $V_{GS} - V_t$ fissate

$\rightarrow$ se fisso $\frac{W}{L}$

} fisso β $\rightarrow$ e di conseguenza le I_0, I_1 di riposo!

Sintesi a partire da secondo stadio

specifica su GBW, minimizzando la corrente I_0 (non ho specifiche su rumore)

$\rightarrow$ validità ipotesi 1

$\rightarrow$ validità ipotesi 2

$\rightarrow$ stabilità

$$GBW = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{\omega_2}{2\pi\alpha} = \frac{1}{2\pi\alpha}\frac{\boxed{g_{m5}}}{C_L}$$

ricavo g_{m5}

$g_{m5} = 2\pi\alpha\, GBW\, C_L = 1{,}88\ mS$

se troppo grande rinumero

regola pratica

per C_c seguo **regola pratica** $C_c = C_L$ $\rightarrow$ $A_{C_c} = \frac{C_c}{C_{ox}} \simeq 1613\,\mu m^2 = 40 \times 40\,\mu m$

acvin.it

ipotesi 1 e 2 valide

da stabilità $\omega_2 = \alpha\omega_0 \longrightarrow \frac{g_{m5}}{\cancel{C_L}} = \alpha \frac{g_{m1}}{\cancel{C_C}} \longrightarrow g_{m1} = \frac{1}{\alpha} g_{m5}$

$g_{m1} = 0{,}63\ mS \longrightarrow$ dato g_{m1} trovo $\frac{W_1}{L_1}$ da $g_{m1} = \mu_p C_{ox} \frac{W_1}{L_1} (V_{GS} - V_t)_1$

$\frac{W_1}{L_1} = 126$ con $x = W_1 L_1 = 108\ \mu m^2 \longrightarrow$ $\boxed{\begin{array}{l} W_1 = 114\ \mu m \\ L_1 = 0{,}9\ \mu m \end{array}}$

$g_{m1} = \frac{2 I_{D1}}{(V_{GS} - V_t)_1}$ con $F = \frac{g_{m3}}{g_{m1}} = \frac{1}{3} \longrightarrow g_{m3} = 0{,}21\ mS$

con g_{m3} trovo $\frac{W_3}{L_3}$ da $g_{m3} = \mu_n C_{ox} \frac{W_3}{L_3} (V_{GS} - V_t)_3 \longrightarrow \frac{W_3}{L_3} = 2{,}92$

$\frac{W_3}{L_3} = 2{,}92$ con $y = W_3 L_3 = 38\ \mu m^2 \longrightarrow$ $\boxed{\begin{array}{l} W_3 = \quad \mu m \\ L_3 = 3{,}6\ \mu m \end{array}}$

dai legami tra DOF sappiamo $L_5 = L_3 \longleftarrow$ per precisione specchio

$\frac{W_5}{L_5} = 26{,}1 \longrightarrow$ $\boxed{\begin{array}{l} W_5 = \quad \mu m \\ L_5 = L_3 = 3{,}6\ \mu m \end{array}}$

per M_6

$(V_{GS}-V_t)_6 = (V_{GS}-V_t)_5$ per simmetria delle dinamiche | implica

$I_{D5} = I_{D6} \longrightarrow$ correnti di uscita nulle a riposo | $\beta_5 = \beta_6$

$$\left.\begin{aligned} I_{D6} &= \frac{\mu_p C_{ox}}{2}\frac{W_6}{L_6}(V_{GS}-V_t)_6^2 \\ I_{D5} &= \frac{\mu_n C_{ox}}{2}\frac{W_5}{L_5}(V_{GS}-V_t)_5^2 \end{aligned}\right\} \quad \mu_p \frac{W_6}{L_6} = \mu_n \frac{W_5}{L_5}$$

$$\downarrow$$

valore tipico del rapporto è 1/5 $\rightarrow$ $\boxed{\dfrac{\mu_p}{\mu_n}} = \dfrac{W_5/L_5}{W_6/L_6}$

fissiamo il rapporto W_6/L_6 poi arbitrariamente scelgo W_6 e L_6

con $\dfrac{W_5}{L_5} \sim 26 \rightarrow \dfrac{W_6}{L_6} \simeq 130$

$$\boxed{\begin{aligned} W_6 &= 468\,\mu m \\ L_6 &= L_5 \quad \text{prova} \end{aligned}}$$

⚠ a guadagno statico

acvin.it

Specifica su rumore termico

14 NOV

$\sqrt{S_{V_T}} = 10\, nV/\sqrt{Hz} \longrightarrow S_{V_T} = 10^{-16}\, V^2/Hz$

$\varphi_M \simeq 70° \longrightarrow \alpha = 3$

minimo ingombro

partiamo dall'espressione di rumore termico

$$S_{V_T} = 2 \cdot \frac{8}{3} KT \frac{1}{g_{m_1}} \left(1 + F\right) \qquad F = \frac{g_{m_3}}{g_{m_1}} = \frac{V_{EQ_1}}{V_{EQ_3}}$$

scegliamo $F = \frac{1}{3}$ e applico specifica su S_{V_T}

ricavo $g_{m_1} = \frac{64}{9} \frac{KT}{S_{V_T}} = 284\, \mu S$

valutiamo consumo complessivo, con specifica su rumore termico

$$I_{CC} = I_1 + I_0 = I_1 + 2 I_{D1} = V_{EQ_5} g_{m_5} + 2 V_{EQ_1} g_{m_1}$$

necessaria condizione su stabilità

→ regola pratica $C_C = C_L$

→ stabilità

$$\frac{g_{m_1}}{g_{m_5}} = \frac{1}{\alpha} \longrightarrow g_{m_5} = \alpha\, g_{m_1}$$

Condizione su $\varphi_M \rightarrow \alpha = 3$

$$I_{cc} = g_{m1}\left(V_{EQ5}\,\alpha + 2V_{EQ1}\right)$$

$$F = \frac{V_{EQ1}}{V_{EQ3}} \rightarrow V_{EQ3} = \frac{V_{EQ1}}{F} \text{ e } V_{EQ3} = V_{EQ5} \text{ per specchio}$$

$$\Big\} \; I_{cc} = g_{m1} V_{EQ1}\left(2 + \frac{\alpha}{F}\right)$$

$$\longrightarrow I_{cc} = g_{m1} V_{EQ1}\left(2 + \frac{\alpha}{F}\right) = 11\, g_{m1} V_{EQ1} = 155\,\mu A$$

valutazione consumo dipende da applicazione

se inserisco una V_{EQ1} minima per forte inversione $(V_{GS} - V_t)_1 = 100\,mV \longrightarrow V_{EQ1} = 50\,mV$

Come posso ridurre il consumo?

→ "stringo" secondo stadio, porto $F = 1 \longrightarrow$ da fattore 11 a fattore 5

→ riduco $\varphi_M \longrightarrow$ riduco α

→ salto regola pratica, inserisco $C_c > C_L \longrightarrow$ attenzione a dimensioni C_c

fissati g_{m1}, g_{m3}, g_{m5}
fissate le $V_{GS} - V_t$

$\longrightarrow$ calcolo rapporto W/L scelgo arbitrariamente le singole W e L

parto da L minimo e provo con simulatore