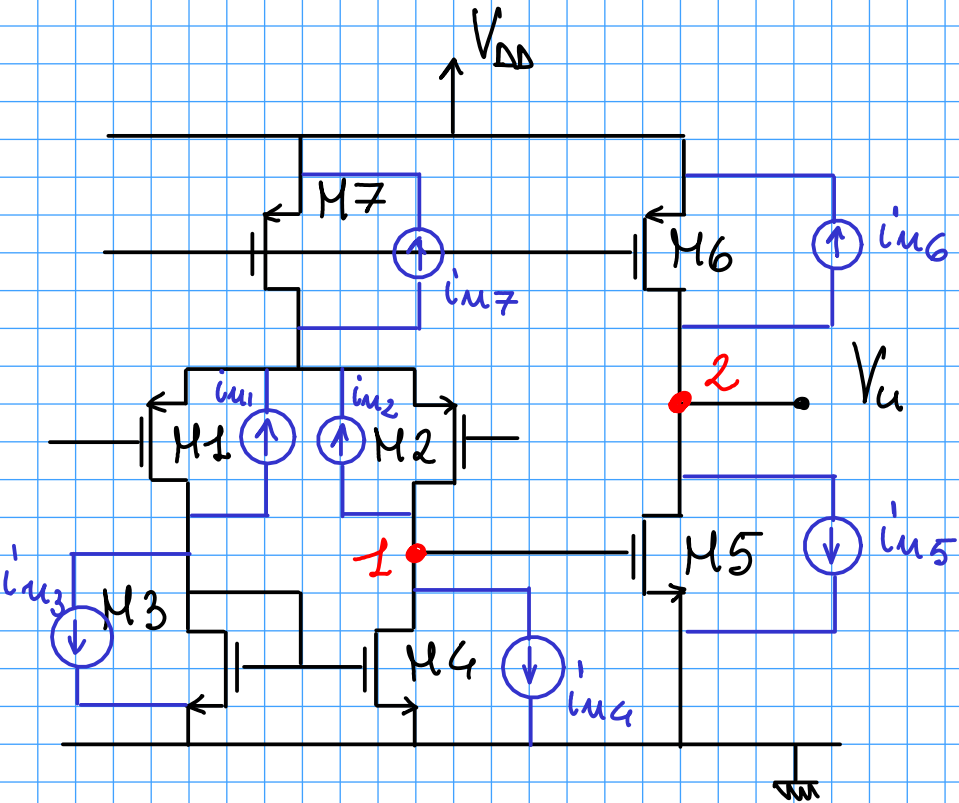


Effetto del rumore e delle variazioni parametriche

7NOV



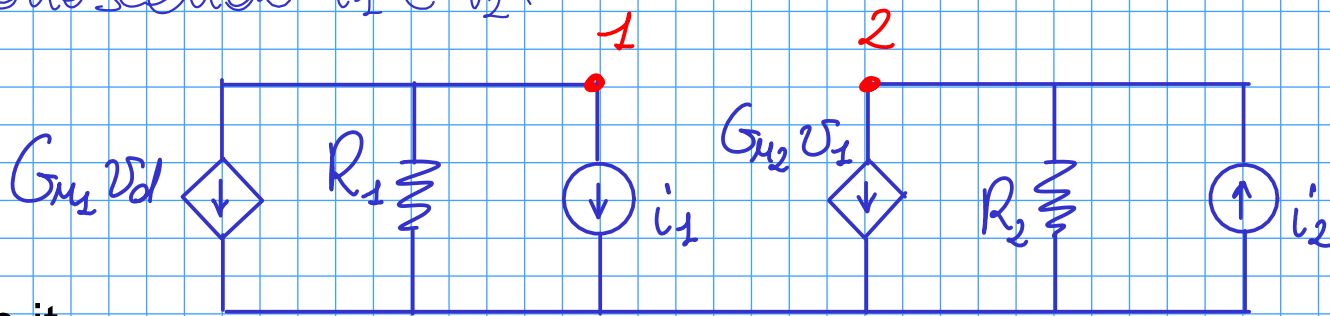
inserisco su ogni MOS un generatore di rumore (o variazione parametrica)

per volubare rumore riportato in ingresso vorrei calcolare il contributo in tensione di ogni singola sorgente e dividere tutto per A_0

simplifico considerando opporto dei generatori sui due nodi ed alla impedenza (dove avviene conversione della corrente in tensione)

Hp Studio a basse e medie freq. elimino capacità (approssimazione)

conoscendo i_1 e i_2 :



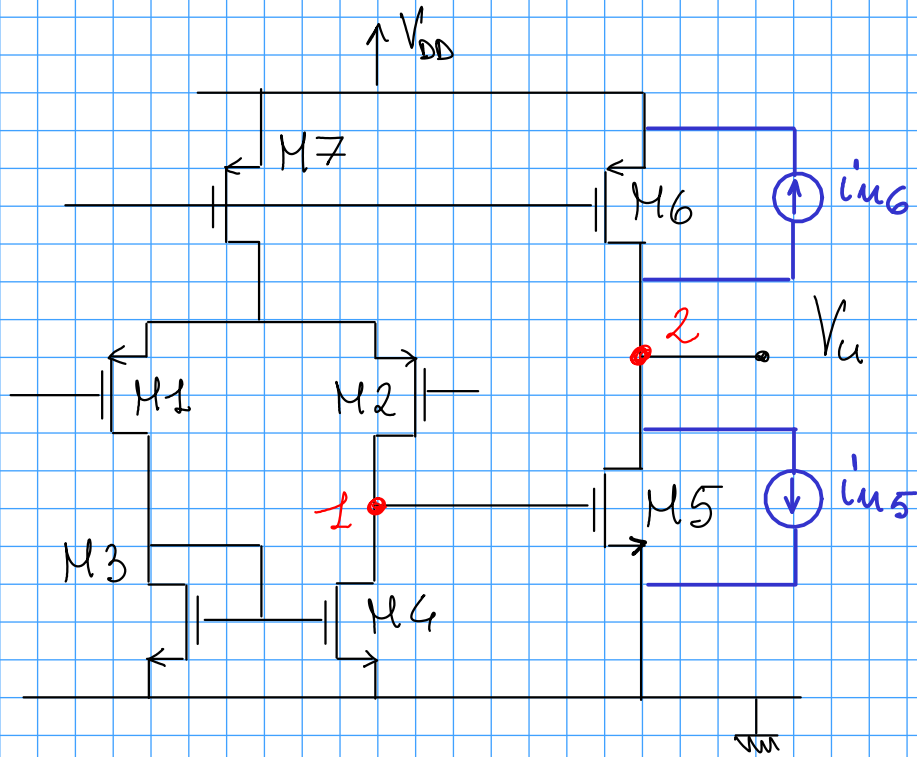
poss. da fare:

→ trovare legame i_1 e i_2 con le varie i_n

→ rumore riportato in ingr. in funzione di i_1 e i_2

Contributo dei generatori in alla i_1 e i_2

10/10/17



Contributo M5 e M6

analisi delle variazioni, V_{DD} è spento
 i_{in5} uscente da nodo 2
 i_{in6} uscente da nodo 2

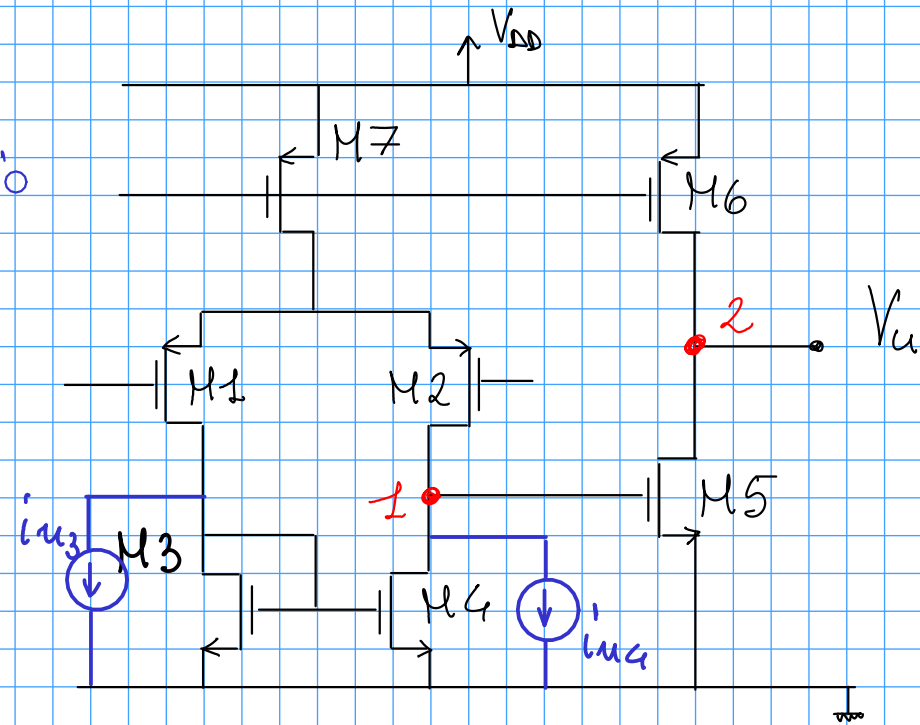
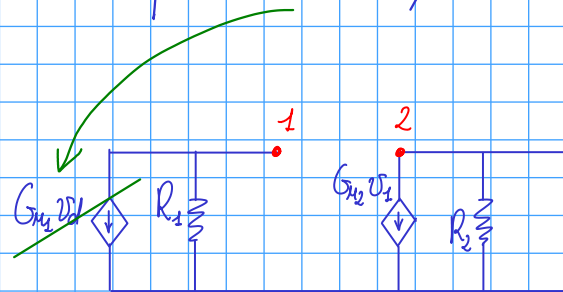
	i_1	i_2
M5	/	1
M6	/	1

positivi uscenti
 nessun contributo
 da uscite su i_1

Contributo M3 e M4

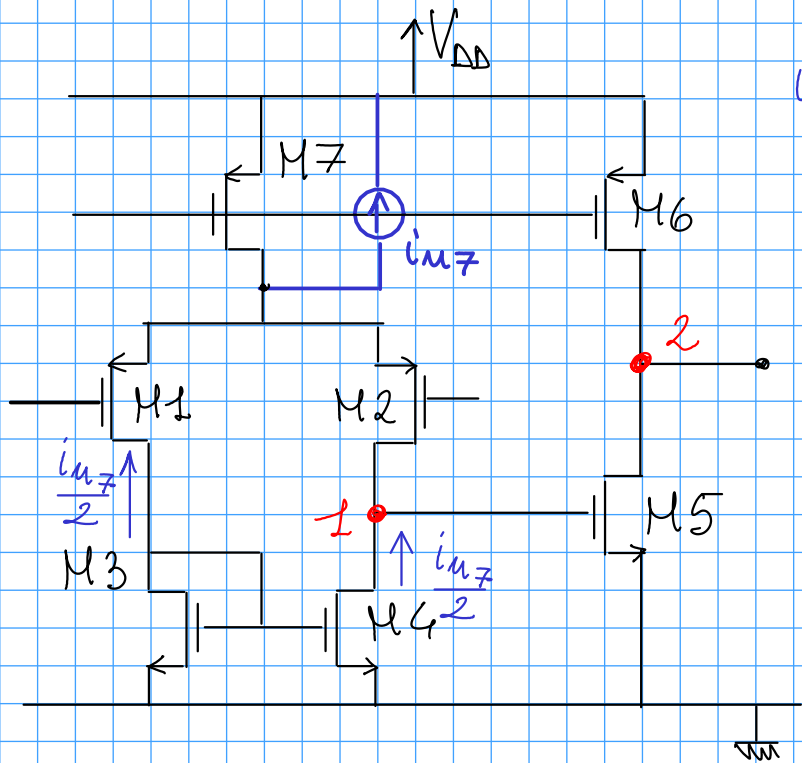
i_{in4} uscente da nodo 1 e i_{in3} attraverso specchio
 entrambe non hanno effetto su nodo 2
 perché $G_{M2}V_1$ con V_1 nullo per $V_d = \phi$

	i_1	i_2
M3	-1	/
M4	1	/



Contributo M7

ricorda: V_{DD} è a massa alle variazioni



i_{m7} taglia corrente a modo comune sulla coppia differenziale

→ nessun effetto su modo 1, se si trascurano errori dello specchio M3-M4

→ effetto su modo 2 è invece legato allo specchio M3-M5, visto che ci troviamo in una condizione di simmetria, $V_{GS3} = V_{GS5}$

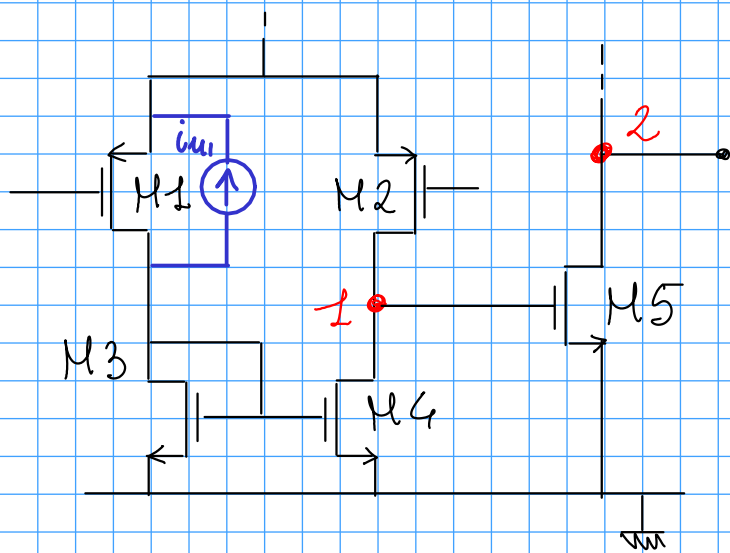
$V_{GS3} = V_{GS5}$ perché coppia bilanciata

$$(V_{GS3} - V_{t3}) + V_{t3} = (V_{GS5} - V_{t5}) + V_{t5} \rightarrow \sqrt{\frac{2i_{D3}}{\beta_3}} + \cancel{V_{t3}} = \sqrt{\frac{2i_{D5}}{\beta_5}} + \cancel{V_{t5}}$$

$$\rightarrow i_{D5} = i_{D3} \frac{\beta_5}{\beta_3} = -i_{m7} \frac{1}{2} \frac{\beta_5}{\beta_3}$$

a meno dell'errore di matching

	i_1	i_2
M7	\sim	$-\beta_5 / 2\beta_3$

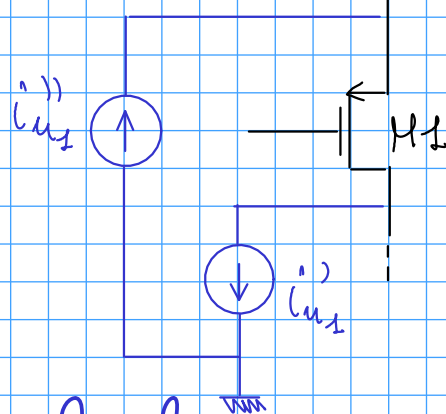


Contributo M1 e M2

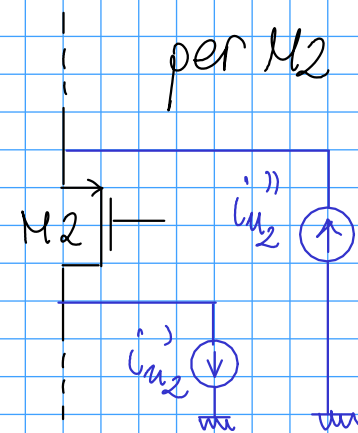
necessita di un passaggio intermedio perché generatore i_{u1} (e così anche i_{u2}) è flottante

applico ancora la sovrapposizione degli effetti

$$i_{u1} = i_{u1}' = i_{u1}''$$



$$i_{u2} = i_{u2}' = i_{u2}''$$



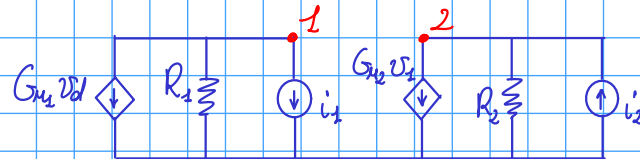
i_{u1}' influisce come i_{u3}
 su nodo 1 ho contributo entrante
 su nodo 2 nullo (M3 e M5 non hanno V_{GS} uguali perché alimentazione è differenziale)

i_{u1}'' influisce come i_{u7}
 su nodo 1 contributo nullo
 su nodo 2, sfruttando simmetria e specchio M3M5 → contributo identico a i_{u7} ma cambia segno

	i_1	i_2
M1	-1	β_5 / β_3
M2	1	β_5 / β_3

per M2 tutto uguale, si ha solo un cambio di segno sul contributo alla i_1

Conoscendo i_1 e i_2



$$V_u = -R_2 i_2 + G_{M2} R_2 R_1 i_1$$

con $V_d = \phi \rightarrow G_{M2} V_d = \phi$

riportato in ingresso $\rightarrow V_u = \frac{V_u}{A_0} = -\frac{R_2}{G_{M1} R_1 G_{M2} R_2} i_2 + \frac{G_{M2} R_2 R_1}{G_{M1} R_1 G_{M2} R_2} i_1$

$$V_u = -\frac{i_2}{G_{M1} G_{M2} R_1} + \frac{i_1}{G_{M1}}$$

$$V_u = \frac{1}{G_{M1}} \left(i_1 - \frac{i_2}{R_1 G_{M2}} \right)$$

rumore del secondo stadio ridotto da fattore simile a $g_m R_d$, facile che sia $\gg 1$

$$V_u \approx \frac{i_1}{G_{M1}}$$

rumore riportato in ingresso, componente i_2 trascurabile

	i_1	i_2
M1	-1	$\beta_5 / 2\beta_3$
M2	1	$\beta_5 / 2\beta_3$
M3	-1	/
M4	1	/
M5	/	1
M6	/	1
M7	\sim	$-\beta_5 / 2\beta_3$

$$V_u \approx \frac{i_{M4} + i_{M2} - i_{M1} - i_{M3}}{G_{M1}}$$

risultato generale, valido per rumore, variazione di parametri, offset

Specifico termine V_n come rumore
è valido un'analisi in frequenza con circuito semplificato senza capacità?

→ Studio a frequenze medio-basse

→ polo dominante ω_{p1} si presenta sia su i_1 sia su i_2 riportate in ingresso, ovvero divisa per $A(\omega)$ → contributi ω_p si dividono a vicenda

quindi

$$S_{V_n} = \frac{S_{I_1} + S_{I_2} + S_{I_3} + S_{I_4}}{G_{M1}^2}$$

non sono correlate tra loro, posso sommare senza termine di covarianza

$$\begin{array}{l} S_{I_1} = S_{I_2} \\ S_{I_3} = S_{I_4} \end{array} \left| \begin{array}{l} \text{non uguali e} \\ \text{stessa polarizzazione} \end{array} \right.$$

$$S_{V_n} = \frac{2(S_{I_1} + S_{I_3})}{G_{M1}^2}$$

porto in tensione ed esplicito
G_M dei vari stadi

$$\rightarrow S_{V_n} = \frac{2(g_{m1}^2 S_{V_1} + g_{m3}^2 S_{V_3})}{g_{m1}^2}$$

$$S_{V_n} = 2(S_{V_1} + F^2 S_{V_3})$$

con $F \triangleq \frac{g_{m3}}{g_{m1}}$

direttamente proporzionale
alla coppia di ingresso

passo "regolare" contributo di rumore dello
specchio M3M4 altrimenti F , ovvero al
rapporto tra le amplificazioni (quadratico)

Da cosa dipende parametro F ?

$$g_m = \frac{I_D}{V_{EQ}} \rightarrow F = \frac{I_{D3}}{V_{EQ3}} \cdot \frac{V_{EQ1}}{I_{D1}} = \frac{I_{D3}}{I_{D1}} \cdot \frac{V_{EQ1}}{V_{EQ3}}$$

in forte iniezione

$$F = \frac{I_{D3}}{I_{D1}} \cdot \frac{(V_{GS} - V_t)_1}{(V_{GS} - V_t)_3}$$

formula generica per le varie topologie,
parametro F rappresenta rumore tra i
due uos

→ per la nostra topologia → $I_{D1} = I_{D3}$ perché sono in serie

$$F = \frac{V_{EQ1}}{V_{EQ3}}$$

← vorrei ridurre il più possibile la tensione di overdrive
della coppia di ingresso rispetto agli altri uos
ecco perché spesso M1 e M3 hanno W/L elevato, per
bilanciare effetto di una limitata $V_{GS} - V_t$

commenti su F

→ riduzione V_{EQ1} benefica, ma attenzione a slew rate

→ richiede V_{EQ3} non minimo, si ripercuote su M5 con il conseguente
aumento di corrente I_1 a parità di GBW!

Componente di rumore termico

$$S_{V_n} = 2 (S_{V_1} + F^2 S_{V_3})$$

$$S_{V_1} = \frac{8}{3} KT \frac{1}{g_{m1}}$$

$$S_{V_3} = \frac{8}{3} KT \frac{1}{g_{m3}}$$

$$S_{V_n} = 2 \cdot \frac{8}{3} \frac{KT}{g_{m1}} (1 + F)$$

rumore della coppia di ingresso

il fattore F incrementa rumore complessivo!

rumore dello stadio di ingresso maggiorato di un termine legato allo specchio di corrente

valore anche un NEF pari a 10

per limitare il rumore termico:

V_{EQ} coppia al minimo, al limite in debole inversione

M3M4 in forte inversione e con elevata $V_{GS} - V_t$ per ridurre F un limite dinamico

$$S_{V_n} = 2 \cdot \frac{8}{3} KT \cdot \frac{V_{EQ1}}{I_{D1}} (1 + F)$$

maggior corrente sulla coppia

"per rumore termico, serve corrente"

complessivamente un g_{m1} elevato \rightarrow basso poli!

normalmente $I_0 \approx I_1$

Componente di rumore flicker

$$S_v = \frac{N_f}{W L} \frac{1}{f}$$

$$S_{v_n} = 2 (S_{v_1} + F^2 S_{v_3})$$

ricaricabili da model, perché spesso non forniti dai modelli di processo

$$S_v = 2 \left(\frac{N_{f_1}}{W_1 L_1} + F^2 \frac{N_{f_n}}{W_3 L_3} \right) \frac{1}{f}$$

flicker è una questione di area della coppia e dello specchio, quest'ultimo aiutato da F^2

"flicker è una questione di area"

flicker elevato per MOS, infatti per amplificatori che lavorano a basse frequenze, si prevedono aree "maggiori" per la coppia di ingresso

Componente di offset intro come variazione di parametri

errore sui componenti, schematizzati come generatori di corrente, provocano la formazione di una tensione di offset

$$V_{io} = \frac{i_{u2} - i_{u1} + i_{u4} - i_{u3}}{G_{M1}}$$

$$V_{io} = \frac{\Delta I_{D2} - \Delta I_{D1} + \Delta I_{D4} - \Delta I_{D3}}{G_{M1}} = \frac{\Delta I_{D1,2} - \Delta I_{D3,4}}{G_{M1}}$$

Hp lavoro solo in forte inversione, esplicito termini ΔI_D

$$\Delta I_{D1,2} = I_{D1} \left(\frac{\Delta \beta_{1,2}}{\beta_1} - 2 \frac{\Delta V_{t1,2}}{(V_{GS} - V_t)_1} \right)$$

$$\Delta I_{D3,4} = I_{D3} \left(\frac{\Delta \beta_{3,4}}{\beta_3} - 2 \frac{\Delta V_{t3,4}}{(V_{GS} - V_t)_3} \right)$$

sostituisco nella V_{io}

$$V_{io} = \frac{I_{D1}}{g_{M1}} \left(\frac{\Delta \beta_{1,2}}{\beta_1} + \frac{\Delta \beta_{3,4}}{\beta_3} - 2 \frac{\Delta V_{t1,2}}{(V_{GS} - V_t)_1} - 2 \frac{\Delta V_{t3,4}}{(V_{GS} - V_t)_3} \right)$$

sostituisco a $g_{m1} = \frac{2I_{D1}}{(V_{GS} - V_t)_1}$ in forte inversione

$$v_{io} = \frac{(V_{GS} - V_t)_1}{2} \left(\frac{\Delta\beta_{1,2}}{\beta_1} + \frac{\Delta\beta_{3,4}}{\beta_3} \right) - \Delta V_{t1,2} - \boxed{\frac{(V_{GS} - V_t)_3}{(V_{GS} - V_t)_1}} \cdot \Delta V_{t3,4}$$

β delle coppie \rightarrow β_1
 specchio di corrente \rightarrow β_3
 tensione di soglia coppia \rightarrow $\Delta V_{t1,2}$
 parametro F \rightarrow $\frac{(V_{GS} - V_t)_3}{(V_{GS} - V_t)_1}$

$$v_{io} = \frac{(V_{GS} - V_t)_1}{2} \left(\frac{\Delta\beta_{1,2}}{\beta_1} + \frac{\Delta\beta_{3,4}}{\beta_3} \right) - \Delta V_{t1,2} - F \Delta V_{t3,4}$$

simile a formulazione dell'errore di matching su amplificatore a carichi resistivi

\rightarrow dove con $\frac{\Delta R}{R}$ sostituisco $\frac{\Delta\beta_{3,4}}{\beta_3}$
 e aggiungo termine $\Delta V_{t3,4}$

utilizzo F per smorzare peso delle $\Delta V_{t3,4}$

riducendo $(V_{GS} - V_t)_1$ limite contributo dell'errore su β

Passo alle derivazioni standard, per quantificare errore

$$\sigma_{V_{io}}^2 = \frac{(V_{GS} - V_t)_1^2}{4} \sigma_{\frac{\Delta\beta_{1,2}}{\beta}}^2 + \frac{(V_{GS} - V_t)_1^2}{4} \sigma_{\frac{\Delta\beta_{3,4}}{\beta}}^2 + \sigma_{\frac{\Delta V_{t1,2}}{V_t}}^2 + F^2 \sigma_{\frac{\Delta V_{t3,4}}{V_t}}^2$$

con $\sigma_{\frac{\Delta\beta}{\beta}} = \frac{C_\beta}{\sqrt{WL}}$ e $\sigma_{\frac{\Delta V_t}{V_t}} = \frac{C_{V_t}}{\sqrt{WL}}$ C_β e C_{V_t} da fondere

parametri già fissati da condizioni precedenti, al limite solo piccole variazioni (se indispensabile)

$$\sigma_{V_{io}}^2 = \frac{(V_{GS} - V_t)_1^2}{4} \cdot \frac{C_{\beta p}^2}{W_1 L_1} + \frac{(V_{GS} - V_t)_1^2}{4} \cdot \frac{C_{\beta n}^2}{W_3 L_3} + \frac{C_{V_{tp}}^2}{W_1 L_1} + F^2 \cdot \frac{C_{V_{tn}}^2}{W_3 L_3}$$

restano da decidere aree M1M2 e M3M4

distinguo tra mos n e mos p

parametro offset legato ad area!

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

Minimizzazione dell'area MOS con specifica su offset o flicker

specifica su offset \rightarrow area $W_1 L_1$ e $W_3 L_3$, come ottimizzo valore complessivo?

$$S = W_1 L_1 + W_3 L_3 = x + y \quad \text{studio } S \text{ per minimizzarne il valore}$$

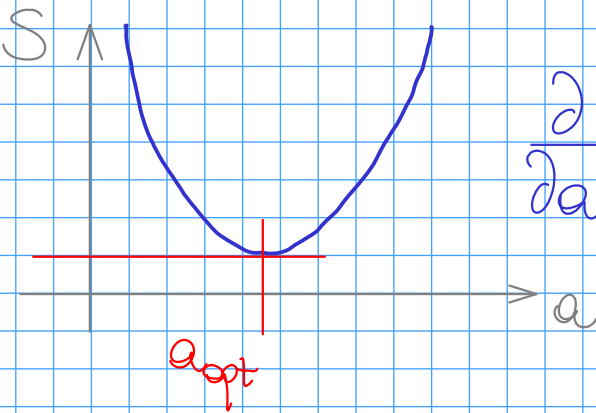
$$S = x(1 + a) \quad \text{con } a = \frac{y}{x}$$

$$\sigma_{V_{io}}^2 = \frac{A}{x} + \frac{B}{y} = \frac{A}{x} + \frac{B}{ax} \rightarrow x = \frac{1}{\sigma_{V_{io}}^2} \left(A + \frac{B}{a} \right)$$

quindi

$$S = \frac{1}{\sigma_{V_{io}}^2} \left(A + \frac{B}{a} \right) (1 + a) = \frac{1}{\sigma_{V_{io}}^2} \left(A + aA + \frac{B}{a} + B \right)$$

derivo in a e cerco punto di minimo



$$\frac{\partial S}{\partial a} = \frac{1}{\sigma_{V_{io}}^2} \left(A - \frac{B}{a^2} \right) = 0 \rightarrow a_{opt} = \sqrt{\frac{B}{A}}$$

$$W_3 L_3 = a_{opt} W_1 L_1 \quad \text{per l'offset}$$

stesso ragionamento per il flicker

$$S_{v_1} = 2 \left(\frac{\boxed{N_{fn}}}{W_1 L_3} + \frac{\boxed{F^2 N_{fp}}}{W_3 L_3} \right) \frac{1}{f}$$

definito A definito B

in analogia con quanto visto prima

$$a_{opt} = \sqrt{\frac{N_{fp} F^2}{N_{fn}}} \rightarrow W_3 L_3 = a_{opt} W_1 L_1$$