

# Progettazione di circuiti integrati analogici

MARCO PIOVESAN 1012992

## HOMEWORK 0

L'esercitazione assegnata tratta l'analisi di un amplificatore C.S. (*Common Source*) usando per i componenti del circuito dei valori assegnati.

Il primo punto da risolvere è la ricerca del valore di  $g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}}$  che rappresenta il parametro di trasconduttanza dell'NMOS visto in una schematizzazione linearizzata ovvero ai piccoli segnali.

Calcoliamo il valore teorico partendo dalla tensione di overdrive e tenendo in considerazione gli effetti di canale corto dei MOS:

$$V_{OV} = \sqrt{\frac{2}{\mu C_{ox}} \cdot \frac{L}{W} \cdot I_D} + \frac{\theta}{\mu C_{ox}} \cdot \frac{L}{W} \cdot I_D = 202 \text{ mV} \quad (1)$$

quindi ricaviamo il valore di efficienza di transconduttore:

$$\frac{g_m}{I_D} = \frac{2}{V_{OV}(1 + \theta V_{OV})} = 8.79 \text{ V}^{-1} \quad (2)$$

e da questo ricaviamo il valore di  $g_m$ :

$$g_m = \frac{g_m}{I_D} \cdot I_D = 1.055 \text{ mS}. \quad (3)$$

Sono note inoltre le dimensioni dei dispositivi e quindi è possibile conoscere le relative resistenze di uscita:

$$r_0 = \eta \cdot \frac{L}{I_D} = \begin{cases} r_{01} \cong 75 \text{ K}\Omega \\ r_{02} \cong 104 \text{ K}\Omega \end{cases} \quad (4)$$

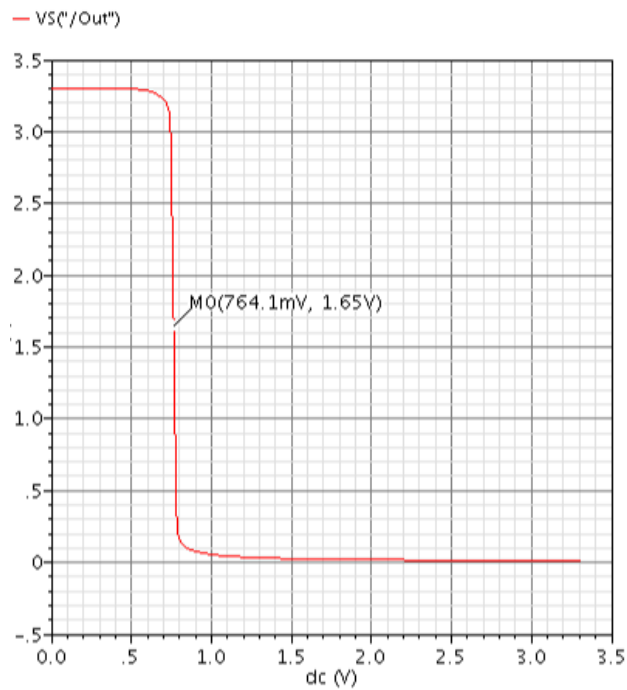
A questo punto è sufficiente ricordare che in un amplificatore a source comune il valore di amplificazione in DC vale:

$$A_{V_0} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -g_m \cdot (r_{01} \parallel r_{02}) = -45 \Rightarrow |A_{V_0}|_{dB} = 20 \cdot \log_{10} |A_{V_0}| \cong 33 \text{ dB} \quad (5)$$

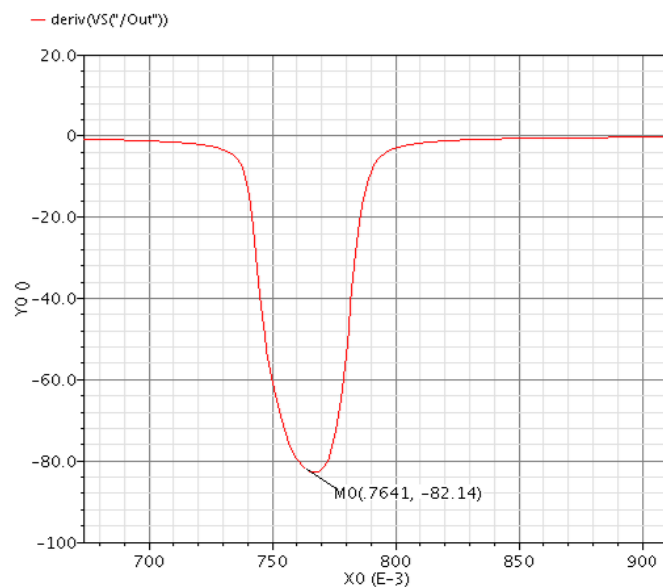
Si esegue ora una simulazione sweep-DC del circuito imponendo un generatore DC variabile al gate dell'NMOS; nell'eseguire la simulazione si è scelto di usare la scala lineare con passi di 1 mV in un range di tensione da 0 V a  $V_{DD} = 3.3 \text{ V}$ .

La simulazione serve a trovare il valore ottimo di bias (polarizzazione) da applicare al gate dell'NMOS.

Il valore scelto è  $V_{GS} = 764.1 \text{ mV}$  che imposta la tensione di uscita a metà dell'alimentazione quindi a  $3.3 \text{ V}/2 = 1.65 \text{ V}$ .



Si è visto che in DC il valore di amplificazione è direttamente proporzionale a  $g_m$  con la relazione (5), si usa quindi la simulazione appena fatta per ricavare un'altra informazione facendo la derivata di  $V_{OUT}$  rispetto a  $V_{IN}$ : in questo modo si ha il grafico del guadagno  $A_V$  dal quale si può facilmente ricavare il valore di amplificazione in funzione del bias:



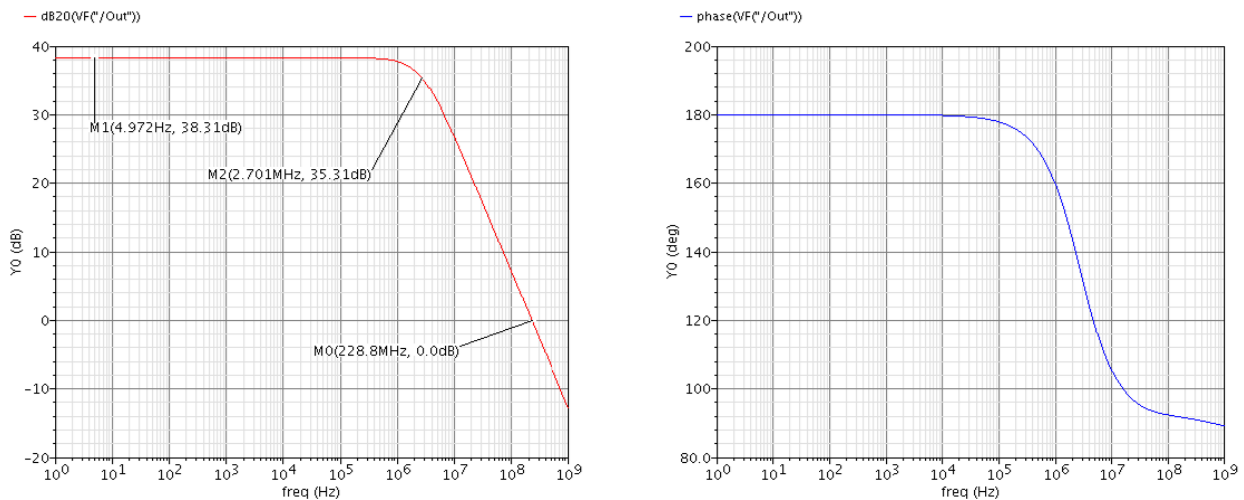
Dalla simulazione risulta un valore di  $A_V = -82.14$  che è pari a 38.29 dB in corrispondenza del punto di lavoro scelto con  $V_{GS} = 764.1$  mV, il valore teorico calcolato era  $A_{V_{teoricodB}} = 33$  dB.

Con la simulazione appena fatta si verifica anche che i MOS si trovino tutti in saturazione, per fare questo accertamento si riassumono di seguito in una tabella i valori più significativi per i tre dispositivi letti nella finestra *Print DC operation point* di *Virtuoso*:

	NMOS	PMOS (specchiato)	PMOS ( $I_{ref}$ )
$g_m$ [mS]	1.051	4.24	1.374
$g_{ds}$ [ $\mu$ S]	7.581	5.181	7.028
$I_{DS}$ [ $\mu$ A]	124.7	- 124.7	- 120
$V_{DS}$ [V]	1.66	- 1.64	- 865
$V_{GS}$ [mV]	764	- 865.5	- 865
$V_{th}$ [mV]	563.3	- 727.2	- 727.9

Dalla tabella si vede che tutti i MOS sono in saturazione e si può notare l'errore nello specchio di corrente con una differenza di corrente pari a  $124.7 - 120 = 4.7 \mu\text{A}$ .

Ora si polarizza l'NMOS nel punto di lavoro ottimale e si esegue una simulazione AC: l'intervallo di frequenza è da 1 Hz a 1 GHz in scala logaritmica e con un numero punti per decade pari a 100.



Nella simulazione si trova che la banda a  $-3$  dB del sistema termina alla frequenza di 2.701 MHz, tale valore di frequenza rappresenta anche il valore di pulsazione associata al polo dominante dato che la pendenza è di  $-20$  dB/dec.

La frequenza di transizione, ovvero il passaggio per 0 dB pari a un guadagno unitario si trova a 228.8 MHz che si avvicina al valore teorico stimato a 200 MHz. Il margine di fase associato alla frequenza di transizione è di  $PM = 90^\circ$ <sup>1</sup>, il sistema risulta quindi stabile.

<sup>1</sup>questo risultato è facilmente calcolabile dato che il sistema taglia con una pendenza di  $-20$  dB/dec, sapendo che  $PM = 180^\circ - \angle A_V(j\omega) |_{\omega=\omega_T}$  e siccome  $\omega_T \gg \omega_c$  allora  $PM = 180^\circ - \arctan(+\infty) = 90^\circ$ .

Per stimare lo swing di tensione si usa un segnale di tipo sinusoidale in ingresso con frequenza 1 KHz e si valuta la THD (*total harmonic distortion*) facendo variare l'ampiezza di questa sinusoide. La THD è un parametro che indica quanto incide l'ampiezza delle armoniche ( $V_n$ ) di un segnale rispetto alla sua fondamentale ( $V_1$ ), ovvero dato il segnale  $v(t)$  la THD vale:

$$THD\% = 100 \cdot \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{+\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (6)$$

Nella tabella seguente si riassumono i rispettivi valori di  $THD$  valutati per diversi valori di  $V_{sin}$ :

$V_{MAX}$ [mV]	$THD$	$V_{MAX}$ [mV]	$THD$	$V_{MAX}$ [mV]	$THD$
1	0.32%	20	5.67%	30	15.08%
10	1.24%	25	10.41%		

Assumendo come valore limite  $THD = 10\%$  lo swing di tensione è pari a  $\pm 25$  mV intorno al punto di lavoro.