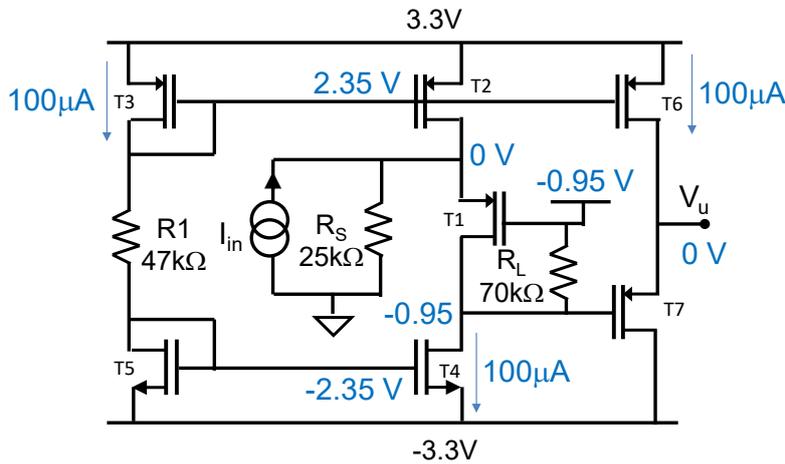


1° prova in itinere

Es.1

Considerare l'amplificatore della figura accanto, che fa uso di transistori MOSFET aventi (*Consider the circuit on the right, where transistors have*)  $V_T=0.45V$ ,  $k=1/2\mu_p C_{ox} W/L=400\mu A/V^2$  and  $V_A=\infty$ .



- a) Calcolare la tensione dell'alimentazione  $V_G$  per avere l'ingresso del circuito alla tensione di 0V in assenza di segnale (*Find the voltage  $V_G$  in order to have the DC voltage of the input at 0V*)

I generatori di corrente portano 100uA.  $V_G=-0.95V$ .

- b) Calcolare il trasferimento per piccolo segnale a bassa frequenza  $T(0)=v_u/i_{in}$  nell'ipotesi di assenza di carico collegato all'uscita (*Find the transfer function  $T=v_u/i_{in}$  at low frequency*)

Poiché il segnale di ingresso è una corrente e l'uscita è una tensione, la funzione di trasferimento avrà le dimensioni di una resistenza. Il suo valore è  $T(0)=63.6k\Omega$ .

- c) Calcolare il valore della resistenza  $R_X$  che, collegata all'uscita dell'amplificatore, determina un dimezzamento del valore del trasferimento complessivo del circuito  $T(0)=v_u/i_{in}$  (*Find the value of the resistance  $R_X$  that, when connected to the output, would drop the transfer value to half of the previous value*)

L'impedenza di uscita del circuito è  $Z_u=1/g_m=2.5k\Omega$ . Per avere una partizione di 1/2 dovrà essere  $R_X=2.5k\Omega$ .

- d) Calcolare la massima ampiezza positiva del segnale di corrente  $i_{in}(t)$  applicabile all'ingresso (*Find the maximum positive input signal  $i_{in}(t)$  that can be applied to the circuit*)

Una corrente  $i_{in}$  entrante nel circuito produce a) un innalzamento della tensione di ingresso (che potrebbe mandare in ohmico T2); b) un innalzamento della tensione di Drain di T1 (che potrebbe mandare in Ohmico T1) e c) un innalzamento della tensione di uscita (che potrebbe mandare in Ohmico T6).

Il punto b) è il più limitante perché il Drain può spostarsi in su solo di 0.45V (l'uscita potrebbe spostarsi in su di 2.8V a pari guadagno, quindi non limita):

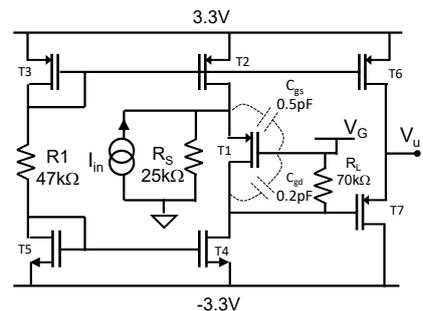
$i_d \cdot 70k\Omega = 0.45V$  da cui si ottiene  $i_d = 6.43\mu A$ . Considerando la partizione di ingresso, si ottiene  $i_{in|_{max+}} = 7.07\mu A$ . Con questa corrente T2 non ha problemi.

- e) Calcolare la **massima ampiezza negativa** del segnale di corrente  $i_{in}(t)$  applicabile all'ingresso (*Find the maximum negative input signal  $i_{in}(t)$  that can be applied to the circuit*)

Una corrente  $i_{in}$  uscente dal circuito produce a) un abbassamento della tensione di ingresso (e quindi lo spegnimento di T1 se questa corrente fosse pari a  $100\mu A$ ) e b) un abbassamento della tensione di Drain di T1 (che potrebbe mandare in Ohmica T4). Non c'è altro di cui preoccuparsi.

Vediamo il punto b): il Drain può spostarsi in giù solo di  $1.85V$  per cui  $i_d \cdot 70k\Omega = 1.85V$  da cui si ottiene  $i_d = 26.4\mu A$ . Con questa corrente T1 non ha problemi di spegnimento. Considerando la partizione di ingresso, si ottiene  $i_{in|_{max-}} = 29\mu A$ .

- f) Tenendo conto della presenza delle capacità  $C_{gs} = 0.5pF$  e  $C_{gd} = 0.2pF$  del solo transistor **T1**, calcolare la **Funzione di Trasferimento  $T(s)$**  del circuito e disegnare i **Diagrammi di Bode** quotati del modulo e della fase. (*Find the Transfer function of the circuit  $T(s)$  and draw the Bode plots of modulus and phase when  $C_{gs} = 0.5pF$  e  $C_{gd} = 0.2pF$  of T1 only are considered*)



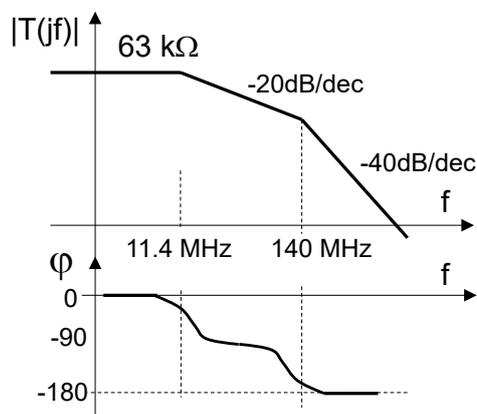
Le due capacità non interagiscono tra di loro. Infatti il Gate di T1 è ad un punto fisso in tensione e smista tutta la corrente indotta nelle due capacità verso massa senza spostarsi.

$C_{gs1}$  si scarica attraverso  $1/g_{m1}$  e verso  $R_S$  con due percorsi in parallelo tra di loro, che non vengono modificati dalla presenza di  $C_{gd}$ . Pertanto  $f_{p1} = 140MHz$ . La capacità non determina uno zero al finito perché l'unico modo per non avere spostamento all'uscita è che la corrente  $i_{in}$  non entri in T1 ma vada a massa prima, e questo è solo possibile attraverso la capacità, ma solo alla frequenza infinita in cui la variazione di tensione ai suoi capi sia zero (se no sposterebbe il source di T1 ed avremmo corrente in T1!).

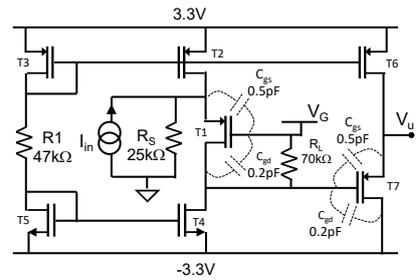
$C_{gd1}$  si scarica attraverso  $R_L$ , senza che l'altra capacità venga vista. Pertanto  $f_{p2} = 11.4MHz$ . Anche  $C_{gd1}$  non introduce uno zero al finito perché l'unico modo per non avere variazione dell'uscita pur iniettando  $i_{in}$  all'ingresso è che la corrente scorra tutta in  $C_{gd1}$  ma senza spostare la tensione, cosa possibile solo a frequenze infinite. La funzione di trasferimento sarà pertanto:

$$T(s) = 64k\Omega \cdot \frac{1}{\left(1 + sC_{gs1} \cdot \left(R_S \parallel \frac{1}{g_{m1}}\right)\right)} \cdot \frac{1}{\left(1 + sC_{gd1} \cdot R_L\right)}$$

I cui diagrammi di Bode sono i seguenti:



g) Tenendo conto ora anche della presenza delle capacità  $C_{gs}=0.5\text{pF}$  e  $C_{gd}=0.2\text{pF}$  nel transistor **T7**, calcolare la nuova **Funzione di Trasferimento T(s)** del circuito e disegnare i **Diagrammi di Bode** quotati del modulo e della fase. (Find the Transfer function of the circuit  $T(s)$  and draw the Bode plots of modulus and phase when  $C_{gs}=0.5\text{pF}$  e  $C_{gd}=0.2\text{pF}$  of T7 are also considered in addition to the capacitances of T1)

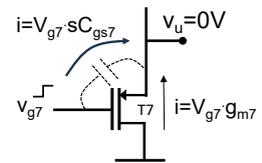


Poichè il transistor T7 è un follower ideale, la variazione di tensione ai capi della sua  $C_{gs7}$  sarà nulla. Pertanto questa capacità non richiederà mai carica al circuito ed in pratica diventa invisibile. La sua  $C_{gd7}$  invece contribuisce ponendosi in parallelo a  $C_{gd1}$ . Il circuito quindi mostrerà ancora solo due poli, uno dei quali è identico a quello calcolato prima perché nulla è cambiato attorno a  $C_{gs1}(f_{p1}=140\text{MHz})$  e l'altro avrà semplicemente la costante di tempo  $\tau=(C_{gd1}+C_{gd7})R_L$  dando una  $f_{p2}=5.6\text{MHz}$ . I diagrammi di Bode sarebbero quindi simili a quelli sopra.

Se non vi venisse da fare la considerazione semplificativa appena descritta, considerate che la capacità  $C_{gs7}$  interagisce con il parallelo delle due  $C_{gd}$ . Calcoliamo quindi il termine b come:

$$b = (C_{gd1} + C_{gd7}) \cdot R_L + C_{gs7} \left[ R_L(1 - G) + \frac{1}{g_{m7}} \right]$$

in cui  $G=1$  (è il guadagno di tensione ai capi della  $C_{gs7}$ ). Si ottiene  $b=28\text{ns}+1.2\text{ns}$  da cui si ricava la stima del polo dominante  $f_{p2}=5.4\text{MHz}$ , in linea con quanto precedentemente stimato. Il secondo polo introdotto da T7 lo trovo cortocircuitando le  $C_{gd}$ , ottenendo  $\tau=C_{gs7}/g_{m7}$ , ottenendo  $f_{p3}=127\text{MHz}$ . Vi chiedete ora se  $C_{gs7}$  introduca o meno uno zero, se cioè pur spostando in tensione il suo Gate l'uscita rimanga fissa (zero trasferimento di segnale). Con l'aiuto della figura accanto trovate che le due correnti attivate dal segnale di prova sono uguali per  $s=g_{m7}/C_{gs7}$ , da cui  $f_z=127\text{MHz}$ , coincidente con il polo prima calcolato, per cui si elidono !



h) Se adesso aggiungiamo alla situazione del punto precedente anche la resistenza  $R_x$  trovata al punto c), calcolare la nuova **Funzione di Trasferimento T(s)** del circuito e disegnare i **Diagrammi di Bode** quotati del modulo e della fase. (Find the Transfer function of the circuit  $T(s)$  and draw the Bode plots of modulus and phase when the resistor  $R_x$  found in c) is added to the circuit of the previous point)

Nulla cambiando in  $f_{p1}=140\text{MHz}$ , la situazione differisce solo per il fatto che ora il termine  $G$  dell'equazione di b prima scritta è  $G=0.5$  e che la resistenza vista al Source di T7 contiene anche  $R_x$ :

$$b = (C_{gd1} + C_{gd7}) \cdot R_L + C_{gs7} \left[ R_L(1 - 0.5) + \frac{1}{g_{m7}} || R_x \right]$$

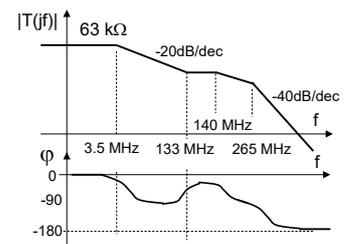
Inserendo i valori si ottiene  $b=28\text{ns}+17.5\text{ns}+0.6\text{ns}=46\text{ns}$  che determina un polo prevalente  $f_{p2}=3.5\text{MHz}$ . Cortocircuitando  $(C_{gd1}+C_{gd7})$  si ottiene

$$b' = C_{gs7} \left[ \frac{1}{g_{m7}} || R_x \right] = 0.6\text{ns}$$

Esso fornisce quindi un polo a  $f_{p3}=265\text{MHz}$ .

Il circuito presenterà ancora lo stesso zero negativo di prima a  $f_z=127\text{MHz}$ .

Accanto trovate i corrispondenti diagrammi di Bode.



- i) Volendo ora considerare i soli due transistori T3 e T5 aventi **tensione di Early**  $V_A=3V$ , calcolare il nuovo valore della corrente negli specchi. (*Find the value of the new current in T2 when transistors T3 and T5 only have a  $V_A = 3V$* )

Poichè cambia  $V_{SG}$ , cambia anche  $r_0$ . Devo quindi impostare un sistema di equazioni che aggancino tra loro tutti i movimenti possibili delle tensioni e delle correnti in gioco:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{MOS} = k(V_{SG} - V_T)^2 \\ I_{r0} = \frac{V_{SG}}{r_0} \\ (I_{MOS} + I_{r0}) \cdot 23500 = 3.3 - V_{SG} \\ r_0 = \frac{3V}{I_{MOS}} \end{array} \right.$$

Sappiamo che se  $r_0=\infty$ , allora  $I_{MOS}=100\mu A$ ,  $V_{SG}=0.95V$ .

Questo risultato ci permette di avere una prima stima del valore di  $r_0=30k\Omega$ .

Il sistema ci fornisce la seguente equazione:

$$\left[ k(V_{SG} - V_T)^2 + \frac{V_{SG}}{r_0} \right] \cdot 23500 = 3.3 - V_{SG}$$

Risolta, otteniamo  $V_{SG}=0.88V$ , da cui ricavare  $I_{MOS}=74\mu A$ ,  $I_{r0}=29\mu A$ ,  $I_{tot}=103\mu A$  e la nuova  $r_0=40k\Omega$ .

Inserendo questo nuovo valore nell'equazione precedente si ottiene  $V_{SG}=0.90V$ , da cui ricavare  $I_{MOS}=80\mu A$ ,  $I_{r0}=22.5\mu A$ ,  $I_{tot}=102.5\mu A$  e la nuova  $r_0=37.5k\Omega$ . Poichè è cambiata di poco, mi fermo. Concludiamo dicendo che i vari transistori che forniscono corrente al circuito porteranno circa  **$I_{T2}=80\mu A$**  invece dei  $100\mu A$  del caso di T3 e T5 ideali.