

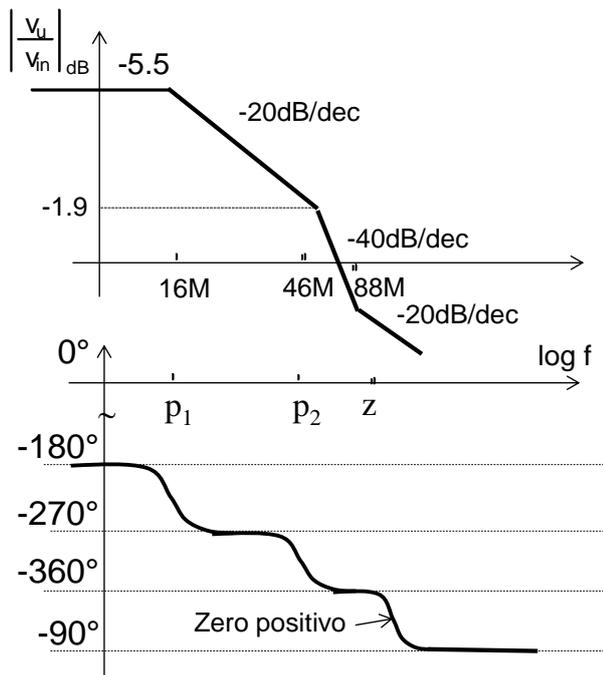
## SOLUZIONE COMPITO DI ELETTRONICA ANALOGICA del 14 novembre 2017

ES.1

- a)  $I_{T1}=500\mu\text{A}$ ,  $1/g_{m1}=1\text{k}\Omega$ ,  $V_{D1}=1.23\text{V}$ ,  $I_{T2}=200\mu\text{A}$ ,  $1/g_{m1}=1.590\text{k}\Omega$ ,  $V_{out}=0\text{V}$ .
- b)  $G \approx -5.5$
- c) All'aumentare di  $v_{in}$ , T1 porterà più corrente e T2 meno corrente, in quanto la loro somma è fissata in  $700\mu\text{A}$ . Devo quindi fare attenzione all'uscita dalla saturazione di T1 (quando  $v_{in}$  sale si ha che  $v_{d1}$  scende e questo potrebbe portare in Ohmico T1) e/o all'interdizione di T2 (quando  $v_{in}$  sale la corrente in T2 potrebbe arrivare ad azzerarsi). Verificare che questa seconda condizione viene raggiunta per prima, quando in ingresso si applica  $v_{in}=+340\text{mV}$ .
- d) Al diminuire di  $v_{in}$ , T1 porterà meno corrente e T2 più corrente. Devo quindi stare attento all'eventuale spegnimento di T1 e/o alla salita eccessiva di  $V_{out}$  tale da portare T2 fuori dalla saturazione. Verificare che questa seconda condizione viene raggiunta per prima, quando in ingresso si applica  $v_{in}=-108\text{mV}$ .
- e)  $HD_2=0.375\%$
- f) Le 2 capacità vengono interessate dal segnale ma non interagiscono tra loro, per cui daranno due poli indipendenti.  $C_{gd1}$  darà anche uno zero destro e  $C_{gd2}$  non potrà dare alcuno zero aggiuntivo. Per cui la funzione di trasferimento sarà della forma :

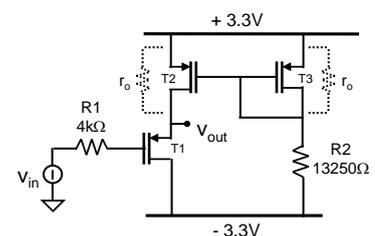
$$G(s) = G(0) \frac{(1 - s\tau_z)}{(1 + s\tau_1)(1 + s\tau_2)}$$

in cui  $G(0) = -5.5$ ,  $f_{p1} = 15.9\text{MHz}$ ,  $f_{p2} = 46\text{MHz}$  ed  $f_z = 88\text{MHz}$ . Grazie al cascode T2, la  $f_{p2}$  è spostata a frequenza ben maggiore di  $f_{p1}$  (senza il cascode la banda del circuito sarebbe stata molto più limitata, ben minore dell'attuale  $15.9\text{MHz}$ ).



ES.2

- a) L'uso di un generatore di corrente a specchio come carico di degenerazione sul Source permette di realizzare, grazie alla resistenza infinita del carico stesso, un follower con trasferimento esattamente pari a  $G=1$  qualunque sia il risultato della polarizzazione, a patto che tutti i transistori lavorino nella loro corretta zona di funzionamento. Poiché il calcolo della polarizzazione porta ad una corrente circolante in T1 pari a  $I_D \approx 400\mu\text{A}$  e  $V_u = +1.3\text{V}$ , effettivamente tutti i transistori stanno operando



in saturazione.

La presenza di  $r_0$  impone un nuovo calcolo delle correnti circolanti.

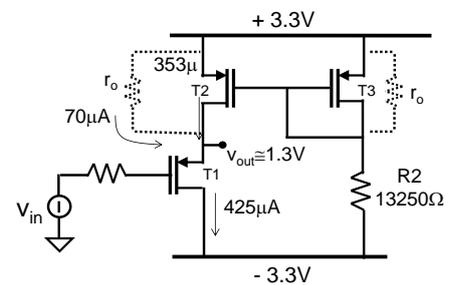
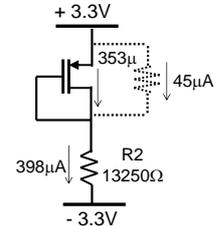
Si deve iniziare dal ramo di destra per trovare la tensione  $V_{SG}$  dei transistori T3 e T2. Partendo dal valore trovato prima (con  $V_a=\infty$ ) di  $V_{SG}=1.3V$  e  $I=400\mu A$ , si stima una  $r_0=25k\Omega$ . Impostando quindi l'equazione:

$$\frac{6.6 - V_{SG}}{R_2} = k(V_{SG} - V_T)^2 + \frac{V_{SG}}{r_0}$$

si ottiene una prima stima del nuovo valore di  $V_{SG}=1.27V$ . Ad esso corrisponderebbe una corrente  $k(V_{SG} - V_T)^2 = 353\mu A$ , una nuova stima  $r_0=28.3k\Omega$  ed una componente aggiuntiva di corrente in  $r_0$  pari a  $45\mu A$ . La somma  $398\mu A$  scorre in  $R_2$  ed è pari effettivamente alla corrente del termine a sinistra dell'equazione. Non ho quindi motivo di continuare l'iterazione per raffinare ulteriormente il conto.

La stessa corrente di  $353\mu A$  verrà portata da T2 a cui si aggiunge la componente che scorre in  $r_0=(3.3V-V_{out})/28.3k\Omega$ . Ci manca di conoscere  $V_{out}$ . Tuttavia possiamo evitare di impostare un calcolo con  $V_{out}$  come variabile considerando che  $V_{SG}$  di T1 sarà dell'ordine di  $1.3V$  quando scorrono circa  $400\mu A$  e si discosterà poco da questo valore.

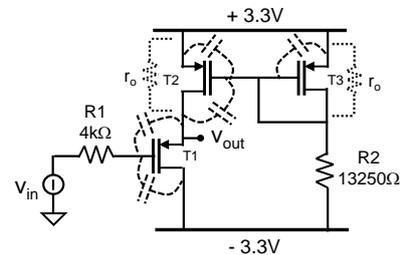
Quindi ricavo la componente di corrente in  $r_0$  di T2 del valore di circa  $70\mu A$ , che porta la corrente totale circolante in T1 al valore di circa  $425\mu A$ . La transconduttanza di T1 è  $g_m=1.65mA/V$  ( $1/g_m=606\Omega$ ). Se  $R_L=\infty$ , lo stadio singolo avrebbe un guadagno tra  $v_{in}$  e  $v_u$  pari a  $G=0.979$ , comunque molto vicino a 1 ed una impedenza di uscita pari a circa  $600\Omega$ .



b) Ricordarsi che  $g_{m3} = 2\sqrt{k \cdot I \cdot \left(1 + \frac{V_{sd}}{V_a}\right)}$  da cui

$1/g_{m3}=660\Omega$ ;  $1/g_{m2}=625\Omega$ ;  $1/g_{m1}=606\Omega$ . Inoltre  $r_{02}=r_{03}=28k\Omega$ .

Le capacità sono tutte interagenti. Le capacità  $C_{gs2}$  e  $C_{gs3}$  sono in parallelo tra loro. Le capacità indipendenti sono solo 3 per cui si avranno 3 poli. Il polo prevalente sarà ben stimabile dal coefficiente b del termine di primo grado del denominatore, i cui 4 addendi sono:



$$\tau_1 = C_{gd1} \cdot R_1$$

$$\tau_2 = C_{gs1} \cdot \left[ R_1 \left( 1 - \frac{r_{02}}{1/g_{m1} + r_{02}} \right) + r_{02} \parallel 1/g_{m1} \right]$$

$$\tau_3 = C_{gd2} \cdot \left[ (1/g_{m3} \parallel r_{03} \parallel R_2) \cdot (1 - g_{m2} \cdot r_{03} \parallel 1/g_{m1}) + r_{02} \parallel 1/g_{m1} \right]$$

$$\tau_4 = (C_{gs2} + C_{gs3}) \cdot (1/g_{m3} \parallel r_{03} \parallel R_2)$$

$b = 280ps + 111ps + 128ps + 197ps = 716ps$  da cui  $f_p=222MHz$ .