

Soluzione prova d'esame di Elettronica Analogica del 19 gennaio 2026

Es1

(a) $V_u=0V$. $1/g_{m1}=1/g_{m2}=1k\Omega$. I due stadi sono uguali e polarizzati nello stesso modo ed il circuito ha guadagno $G=+2$.

$$(b) S_{T1} = \frac{2}{3} \frac{4kT}{\frac{1}{gm1}} \left(\frac{\frac{1}{gm1}}{R_1 + \frac{1}{gm1}} \cdot R_2 \cdot \frac{R_4}{R_3 + \frac{1}{gm2}} \right)^2 = 4.4 \cdot 10^{-17} \frac{V^2}{Hz} = \left(6.7 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} \right)^2$$

$$S_{T2} = \frac{2}{3} \frac{4kT}{\frac{1}{gm2}} \left(R_4 \cdot \frac{\frac{1}{gm2}}{R_3 + \frac{1}{gm2}} \right)^2 = 2.2 \cdot 10^{-17} \frac{V^2}{Hz} = \left(4.6 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} \right)^2$$

$$S_u = S_{T1} + S_{T2} = 6.6 \cdot 10^{-17} \frac{V^2}{Hz} = \left(8.1 \frac{nV}{\sqrt{Hz}} \right)^2$$

(c) Le 3 capacità interagiscono tra loro e sono indipendenti. Devo quindi trovare 3 poli. Il primo:

$$\tau_1 = C_L \left(\frac{1}{gm2} \parallel R_3 \right) + C_{gs} \left[\frac{1}{gm2} \parallel R_3 + R_2 \left(1 - \frac{R_3}{R_3 + \frac{1}{gm2}} \right) \right] + C_{gd} \left[R_4 + R_2 \left(1 + \frac{R_4}{R_3 + \frac{1}{gm2}} \right) \right]$$

$\tau_1=7.6ns+0.6ns+2ns$, a cui corrisponde un polo alla frequenza **$f_1=15MHz$** .

Cortocircuito C_L per stimare il secondo polo:

$$\tau_2 = C_{gs} R_2 + C_{gd} [R_4 + R_2 (1 + gm_2 R_4)] = 1.8ns + 4.8ns$$

a cui corrisponde **$f_2=24MHz$** .

Cortocircuito C_{gd} per stimare il terzo polo:

$$\tau_3 = C_{gs} \left[R_4 \parallel R_2 \parallel \frac{1}{gm2} \right] = 0.2ns$$

a cui corrisponde **$f_3=710MHz$** .

(d) Stimiamo gli zeri considerando ogni singola capacità isolatamente dalle altre. Noto innanzitutto che a frequenze elevatissime (quindi tutte le capacità cortocircuitate) il guadagno del circuito tende a zero. Pertanto, mi aspetto un numero di zeri al finito minore dei poli.

C_{gs} dà uno zero a frequenza infinita perché l'unico modo per non fare arrivare corrente in R_4 (e quindi non muovere l'uscita) è quello di azzerare il comando di T_2 , che appunto potrà avvenire solo a frequenza infinita.

C_L fornisce uno zero qualora in parallelo con R_3 presenti una impedenza infinita come carico al Source di T_2 , in modo che pur pilotando T_2 non si attivi corrente verso R_4 . Questo effettivamente avviene per:

$$\tau_{z1} = C_L R_3 = 32ns \text{ a cui corrisponde } f_{z1} = 5MHz.$$

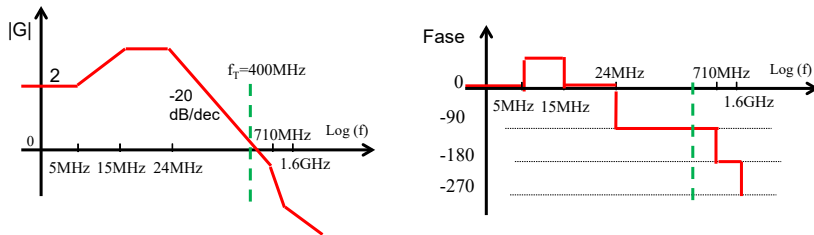
C_{gd} fornisce uno zero positivo (destro nel piano complesso) quando tutta la corrente attivata in C_{gd} da un segnale all'ingresso viene ripresa da T2:

$$\tau_{z2} = C_{gd} \left(\frac{1}{g_{m2}} + R_3 \right) = 0.4 \text{ ns a cui corrisponde } f_{z2} = 380 \text{ MHz.}$$

Noto che questa frequenza è ben maggiore della frequenza del primo polo trovato precedentemente ed attribuito principalmente a C_L . Pertanto è plausibile pensare che quando lo zero di C_{gd} si manifesta, C_L sia già intervenuta. Ricalcolo perciò lo zero in questa situazione:

$$\tau_{z2} = C_{gd} \left(\frac{1}{g_{m2}} \right) = 0.1 \text{ ns a cui corrisponde } f_{z2} = 1.6 \text{ GHz.}$$

I diagrammi di Bode sono quindi i seguenti:



Nei grafici è stato anche indicato il valore della frequenza di taglio $f_T = 400 \text{ MHz}$ dei transistori, oltre cui il modello del transistor non sarebbe più valido, e pertanto il comportamento del circuito come lì rappresentato non è più affidabile.

Es2

(a) Analizzando la reazione del circuito ad un segnale di corrente di rumore i_n in parallelo al canale di T1, si vede che “tutta” la corrente viene richiamata nel transistor T1. Quindi il suo Source si dovrà spostare di $v_s = i_n / g_{m1}$. Poiché non scorre corrente in R1, troveremo la stessa tensione all'uscita:

$$S_{T1} = \frac{2}{3} \frac{4kT}{g_{m1}} \left(\frac{1}{g_{m1}} \right)^2 = 4.4 \cdot 10^{-17} \frac{\text{V}^2}{\text{Hz}} = \left(6.7 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}} \right)^2$$

(b) $s_1 = 264 \text{ kHz} + j2.9 \text{ Mhz}$ ed $s_2 = 264 \text{ kHz} - j2.9 \text{ Mhz}$

(c) Avendo una risposta oscillatoria con periodo $T = 340 \text{ ns}$ e costante di tempo di smorzamento di $\tau = 600 \text{ ns}$, mi aspetto di vedere 7 o 8 oscillazioni prima di raggiungere il valore asintotico di 100 mV .

(d) T3 non produce variazioni della tensione di uscita. R2 contribuisce con $(54 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2$ e determina un $\text{RMS} = 116 \mu\text{V}$.