ESERCIZIO 1

1.1 - Funzione di trasferimento, risposta in frequenza

$$A(s) = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + \dfrac{1}{C_1 s}} \left[1 + \frac{R_4}{R_3(1 + R_4C_2s)}\right] = \frac{R_2C_1s}{1 + (R_1 + R_2)C_1s} \cdot \frac{R_3 + R_4 + R_3R_4C_2s}{R_3(1 + R_4C_2s)}$$

che può essere riscritta:

$$A(s) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_4} \cdot \frac{(R_1 + R_2)C_1s(1 + R_{34}C_2s)}{[1 + (R_1 + R_2)C_1s](1 + R_4C_2s)} \qquad R_{34} = R_3 /\!/ R_4$$

Segue

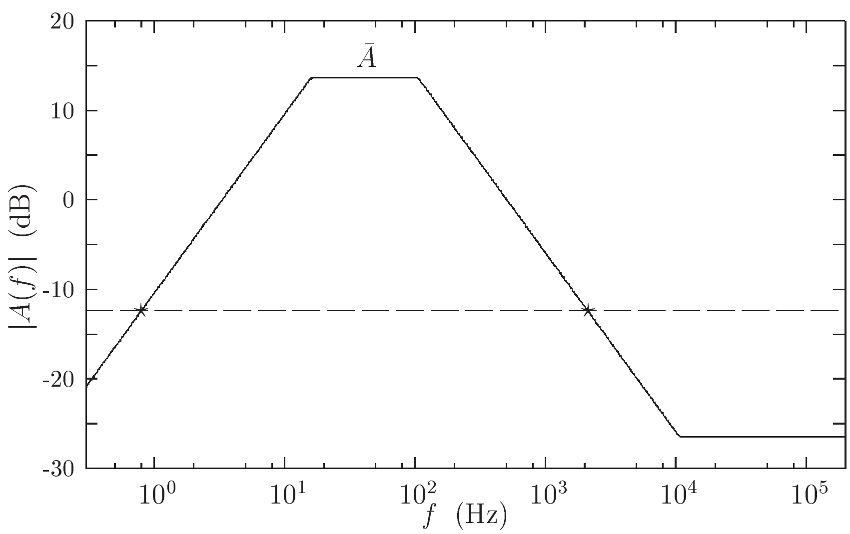
$$A(f) = \bar{A} \frac{j\dfrac{f}{f_{p1}}\left(1 + j\dfrac{f}{f_z}\right)}{\left(1 + j\dfrac{f}{f_{p1}}\right)\left(1 + j\dfrac{f}{f_{p2}}\right)}$$

con

$$\bar{A}_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\frac{R_3 + R_4}{R_4} \qquad f_{p1} = \frac{1}{2\pi(R_1 + R_2)C_1}, \quad f_{p2} = \frac{1}{2\pi R_4C_2}, \quad f_z = \frac{1}{2\pi R_{34}C_2}.$$

Con i dati forniti si ha $f_{p1} = 16.12$ Hz, $f_{p2} = 106.1$ Hz, $f_z = 10.72$ Hz, $\bar{A}_0 = 4.81 \quad (= 13.64\,\text{dB})$.

1.3 - Diagramma di Bode



1.4 - Frequenze per le quali il guadagno . . .

$$\left| \bar{A} \frac{j\dfrac{f}{f_{p1}}\left(1+j\dfrac{f}{f_z}\right)}{\left(1+j\dfrac{f}{f_{p1}}\right)\left(1+j\dfrac{f}{f_{p2}}\right)} \right| = \frac{\max(|A|)}{k} \qquad \text{con} \qquad \max(|A|) = \bar{A}$$

$$\bar{A}^2 \frac{f^2}{f_{p1}^2}\left(1+\frac{f^2}{f_z^2}\right) = \left(\frac{\bar{A}}{k}\right)^2 \left(1+\frac{f^2}{f_{p1}^2}\right)\left(1+\frac{f^2}{f_{p2}^2}\right)$$

posto $f^2 = x$ si ottiene:

$$x^2\left(\frac{1}{f_{p1}^2 f_{p2}^2 k^2} - \frac{1}{f_{p1}^2 f_z^2}\right) + x\left[\left(\frac{1}{k}\right)^2\left(\frac{1}{f_{p1}^2}+\frac{1}{f_{p2}^2}\right) - \frac{1}{f_{p1}^2}\right] + \frac{1}{k^2} = 0$$

che risolta fornisce $x = 0.651\ \text{Hz}^2$ e $x = 4.68 \times 10^6\ \text{Hz}^2$, da cui (scartando le radici negative),

$$f = 0.81\ \text{Hz} \qquad \text{ed} \qquad f = 2.16\ \text{kHz}.$$

ESERCIZIO 2

2.1 - Studio a riposo

$$V^+ \frac{R_2}{R_1+R_2} - (R_1 /\!/ R_2) I_B - V_\gamma - R_E(I_C + I_B) \simeq V^+ \frac{R_2}{R_1+R_2} - V_\gamma - R_E I_C = 0 \qquad \text{(part. pesante)}$$

Da quest'ultima, con il valore dato per I_C, segue $R_2 = 12.33\,\text{k}\Omega$ e quindi $R_1 = 37.67\,\text{k}\Omega$. Inoltre $R_1 /\!/ R_2 = 9.29\,\text{k}\Omega$.

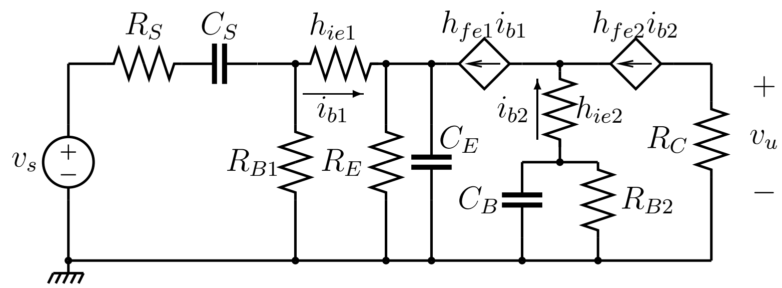
Ancora con l'ipotesi di partitore pesante (su B_2) si ha $V_{CE1} = V^+ \dfrac{R_4}{R_3+R_4} - V_\gamma = R_E I_C = 3.03$ V.

Inoltre $I_{C2} \simeq I_{E2} = I_{C1}$ e $V_{CE2} = V^+ - R_C I_{C2} - V_{CE1} - R_E I_{C1} = 4.56$ V. Dalle caratteristiche d'uscita segue $I_{B1} \simeq 12\,\mu\text{A}$ e $I_{B2} \simeq 12\,\mu\text{A}$.

Nel p.r. dei due transistor (che risultano essere in z.a.d.) si ha

$$h_{fe1} \simeq h_{fe2} = 180, \qquad h_{ie1} = r_{bb'} + r_{b'e1} = 2.59\,\text{k}\Omega \simeq h_{ie2}.$$

Circuito per le variazioni:



2.2 - Condensatori interagenti

I condensatori C_E e C_S sono fra loro interagenti. Vale

$R_S^0 = R_S + \{R_B /\!\!/ [h_{ie1} + RE(h_{fe1} + 1)]\} = 9.24\,\text{k}\Omega$

$R_S^E = R_S + (R_B /\!\!/ (h_{ie1}) = 2.27\,\text{k}\Omega$

$R_E^0 = R_E /\!\!/ \left(\dfrac{h_{ie1} + R_B}{h_{fe1} + 1}\right) = 62.9\,\Omega$

$R_E^S = R_E /\!\!/ \left[\dfrac{h_{ie1} + (R_B /\!\!/ R_S)}{h_{fe1} + 1}\right] = 15.5\,\Omega$

2.3 - Condensatori non interagenti Il condensatore C_B non interagisce con gli altri. Le frequenze di polo e di zero coincidono, dal momento che il guadagno non dipende da C_B. Dunque

$$f_{pCB} = f_{zCB} = \frac{1}{2\pi R_B C_B} = 13.13 \text{ Hz}.$$

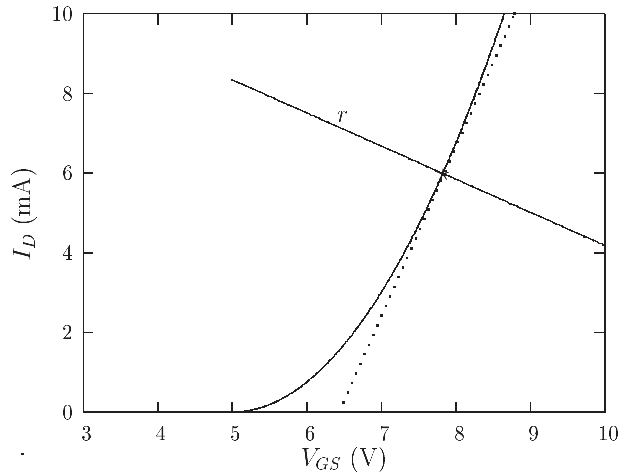
2.4 - Guadagno a centro banda

Con tutti i condensatori chiusi si ha:

$$A_v = -\frac{R_C h_{fe2}}{(R_S /\!\!/ R_B) + h_{ie1}} \cdot \frac{h_{fe1}}{h_{fe2} + 1} \cdot \frac{R_B}{R_B + R_S} = -135.3 \quad (= 42.6\,\text{dB}).$$

ESERCIZIO 3

3.1 - Punto di riposo

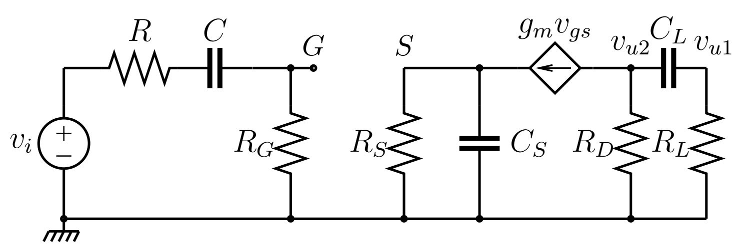


$V_{GS} = V^+ - R_S I_D$. Riportando la retta (r) descritta da questa equazione sul piano della caratteristica mutua, all'intersezione tra le due si determina il punto di riposo:

$$V_{GS} = 7.83\ \text{V}, \qquad I_D = 5.97\,\text{mA}.$$

La transconduttanza g_m è data dalla pendenza della retta tangente alla car. mutua nel punto di riposo: $g_m = 4.245\,\text{mS}$.

Circuito per le variazioni (i condensatori non interagiscono):



a) Risposta $A_1(f)$: 2 zeri nell'origine (C e C_L) uno zero non nullo (C_S) e tre poli.

$$f_{pCS} = \frac{1}{2\pi C_S (R_S /\!\!/ 1/g_m)} = 8.08\ \text{kHz}$$

$$f_{zCS} = \frac{1}{2\pi C_S R_S} = 1.33\ \text{kHz}$$

$$f_{pC} = \frac{1}{2\pi C (R_G + R)} = 15.5\ \text{Hz}$$

$$f_{pCL} = \frac{1}{2\pi C_L (R_D + R_L)} = 159\ \text{Hz}$$

Con tutti i condensatori chiusi:

$$A_{1,\infty} = -g_m (R_D /\!\!/ R_L) \frac{R_G}{R + R_G} = -1.55 \quad (= 3.82\,\text{dB})$$

$$A_1(f) = A_{1,\infty} \frac{f_{zCS}}{f_{pCS}} \cdot \frac{j\dfrac{f}{f_{pC}} \cdot j\dfrac{f}{f_{pCL}} \left(1 + j\dfrac{f}{f_{zCS}}\right)}{\left(1 + j\dfrac{f}{f_{pC}}\right)\left(1 + j\dfrac{f}{f_{pCL}}\right)\left(1 + j\dfrac{f}{f_{pCS}}\right)}$$

b) Risposta $A_2(f)$: 1 zero nell'origine (C) due zeri non nulli (C_S e C_L) e tre poli.

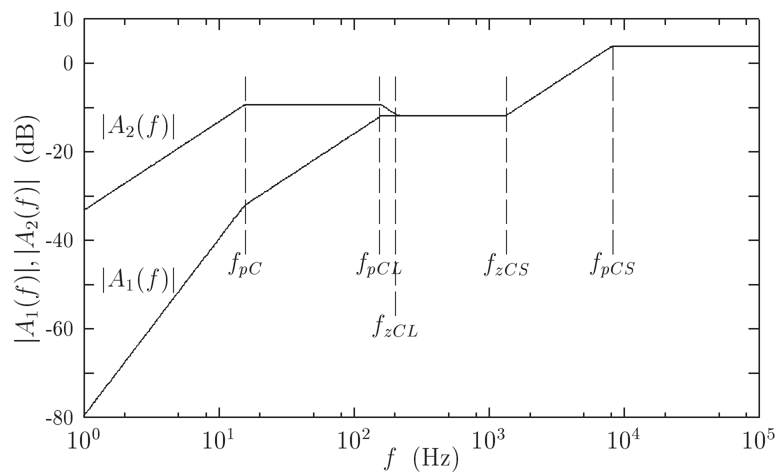
I polo sono quelli già determinati, mentre lo zero di C_L si sposta a un valore finito. La frequenza dello zero può essere determinata dal confronto dei gadagni calcolati con C_L aperto e con C_L chiuso, oppure osservando che essa corrisponde alla pulsazione complessa s per cui l'impedenza di carico $R_D /\!/ [R_L + 1/(sC_L)]$ è nulla. Imponendo questa condizione:

$$R_D /\!/ [R_L + 1/(sC_L)] = 0 \rightarrow R_L + 1/(sC_L) = 0 \rightarrow s = -\frac{1}{R_L C_L}, \qquad \text{da cui} \quad f_{zCL} = \frac{1}{2\pi R_L C_L} = 212.2\,\text{Hz}.$$

Con tutti i condensatori chiusi $A_{2,\infty} = A_{1,\infty}$ (le uscite coincidono).

$$A_2(f) = A_{2,\infty} \frac{f_{zCS} f_{zCL}}{f_{pCL} f_{pCS}} \cdot \frac{j\dfrac{f}{f_{pC}}\left(1 + j\dfrac{f}{f_{zCL}}\right)\left(1 + j\dfrac{f}{f_{zCS}}\right)}{\left(1 + j\dfrac{f}{f_{pC}}\right)\left(1 + j\dfrac{f}{f_{pCL}}\right)\left(1 + j\dfrac{f}{f_{pCS}}\right)}$$

3.3 - Diagrammi di Bode



ESERCIZIO 4

$$h_{ic} = \left.\frac{v_{bc}}{i_b}\right|_{v_{ec}=0} = h_{ie} \qquad h_{fc} = \left.\frac{i_e}{i_b}\right|_{v_{ec}=0} = -(h_{fe}+1) \qquad h_{rc} = \left.\frac{v_{bc}}{v_{ec}}\right|_{i_b=0} = 1$$