

SOLUZIONI DEL COMPITO DI ELETTRONICA B

03.07.07

1. Si ipotizzi l'opamp in cortocircuito virtuale, ovvero $v_{id}=0$.

Tutta la corrente di emettitore scorre su R_1 , quindi:

$$I_E = \frac{V_B}{R_1} = 1.33 \text{ mA}$$

La corrente di base (uscente) è: $I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = 51.15 \mu A$

La corrente di uscita (presa positiva uscente dall'opamp) è:

$$I_{OUT} = -I_B = -51.15 \mu A$$

2. Detto Z il parallelo di C ed R_2 :

$$Z = \frac{R_2}{1 + sCR_2}$$

La tensione sul morsetto negativo dell'opamp vale: $V_n = V_o \cdot \frac{Z}{Z + R_1}$

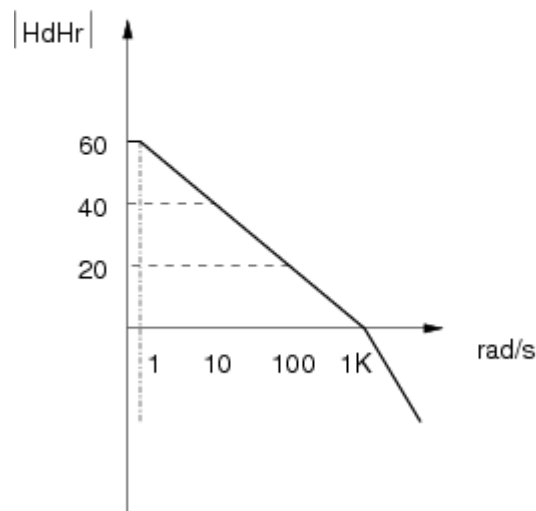
La fdt del ramo di retroazione vale: $H_r = \frac{V_n}{V_o} = \frac{Z}{Z + R_1} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)(1 + \frac{sCR_1 R_2}{R_1 + R_2})}$

Il guadagno di anello aperto vale:

$$H_d H_r = \frac{A_{d0}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} \cdot \frac{R_2}{(R_1 + R_2)(1 + \frac{j \omega CR_1 R_2}{R_1 + R_2})}$$

e parte da un valore in continua pari a $A_{d0} - 20 \cdot \log_{10}(\frac{R_2}{R_1 + R_2}) = 60 \text{ dB}$, presentando

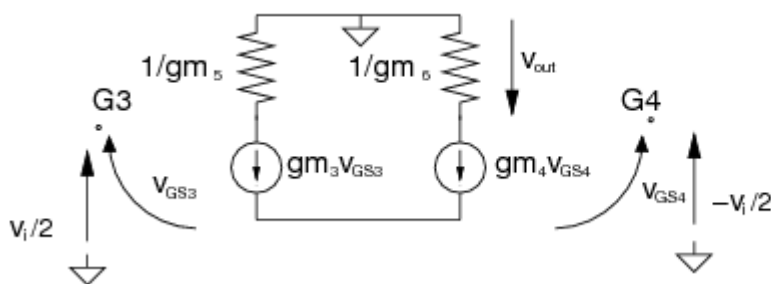
due poli.



In corrispondenza del polo $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$ la fase vale -45° e tende asintoticamente a -90° . In corrispondenza del secondo polo ω_1 la fase vale -135° e tende asintoticamente a -180° . Per avere margine di fase di 45° , deve essere pertanto $\omega_1 = 1 \text{ Krad/s}$, ossia il modulo di $H_d H_r$ deve attraversare l'asse delle ascisse con pendenza -20 dB/dec in corrispondenza della fase -135° .

Imponendo tale valore per ω_1 , si può quindi ricavare il valore di $C = 101 \text{ nF}$.

3. Occorre risolvere il circuito ai piccoli segnali sottostante:



Si possono scrivere le seguenti equazioni:

$$v_{out} = \frac{-gm_4}{gm_6} v_{GS4}$$

$$\frac{v_i}{2} = v_{GS3} - v_{GS4} - \frac{v_i}{2} \quad \text{da cui} \quad v_i = v_{GS3} - v_{GS4}$$

Dato che il circuito è simmetrico ma pilotato in modo antisimmetrico, si avrà:

$$v_{GS3} = \frac{v_i}{2} \quad \text{e} \quad v_{GS4} = -\frac{v_i}{2} \quad .$$

Sostituendo le due espressioni sopra in quella di v_{out} e rigirandola, si ottiene il guadagno del circuito:

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_i} = \frac{gm_4}{2 \cdot gm_6}$$

Risolviamo ora il circuito a riposo, per ottenere gm_4 e gm_6 .

Combinando:

$V_{DD} = R I_R + V_{GS1}$ e $I_R = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{GS1} - V_{Tn})^2$, si ottiene una equazione di secondo grado in v_{GS1} , le cui soluzioni sono 0.42V (da scartare perchè $< V_{Tn}$) e 1.3V.

Si ricavano così i valori delle correnti nel circuito:

$$I_R = 80 \mu A, \quad I_2 = \frac{(w/L)_2}{(w/L)_1} \cdot I_1 = 200 \mu A, \quad I_4 = \frac{I_2}{2} = 100 \mu A, \quad I_6 = I_4 - I_0 = 25 \mu A$$

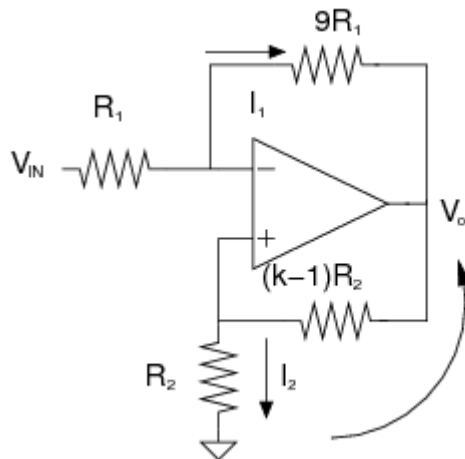
da cui i valori delle transconduttanze:

$$gm_4 = \sqrt{2 \cdot \mu_n C_{ox} \left(\frac{w}{L} \right)_4 I_4} = 1.4 mS \quad \text{e} \quad gm_6 = \sqrt{2 \cdot \mu_n C_{ox} \left(\frac{w}{L} \right)_6 I_6} = 100 \mu A$$

Il valore del guadagno è $A_v = 7$.

4. La fdt ad anello aperto dell'opamp è:

$$A_d = \frac{A_{d0}}{1 + j \frac{\omega}{2\pi f_p}}, \quad \text{dove} \quad f_p = \frac{f_T}{A_{d0}} = 10 Hz$$



La corrente su R_1 e $9R_1$ vale:

$$I_1 = \frac{V_{IN} - V_o}{10 R_1}$$

mentre quella su R_2 e $(k-1)R_2$ è:

$$I_2 = \frac{V_o}{k R_2}$$

Combinando le equazioni: $V_{IN} = R_1 I_1 - v_{id} + R_2 I_2$ e $V_o = \frac{v_{id}}{A_d}$ si ottiene il guadagno del circuito:

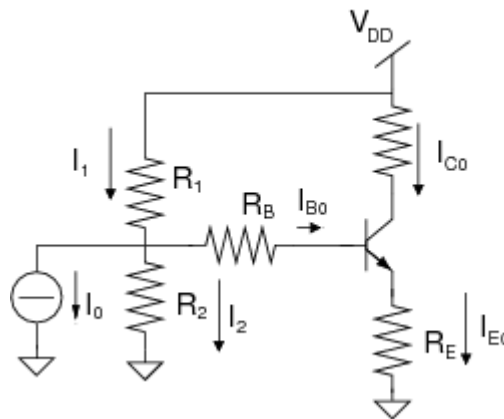
$$\frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{0.9}{\frac{1}{k} - \frac{1}{A_d} - \frac{1}{10}} \text{ nel quale bisogna sostituire l'espressione di } A_d.$$

Si deve ricavare l'espressione del polo che risulta reale,

$$s_p = 2\pi 10 \frac{(10^5 - k - 10^4 k)}{k}, \text{ ed imporre che sia posizionato nel semipiano sinistro}$$

$[\operatorname{Re}(s_p) < 0]$ per avere stabilità. Al limite, sarà: $10^5 - k - 10^4 k = 0$, da cui $k = 10$.

5. A riposo, il condensatore è un aperto, e il circuito da studiare è riportato in figura:



Si devono combinare le equazioni:

$$V_{DD} = R_1 I_1 + R_2 I_2 \quad 1)$$

$$I_1 = I_0 + I_{B0} + I_2 \quad 2)$$

$$R_2 I_2 = R_B I_{B0} + V_y + R_E I_{E0} = R_B \frac{I_{C0}}{\beta} + V_y + R_E I_{C0} \left(\frac{\beta+1}{\beta} \right) \quad 3)$$

Ad esempio, ricavando I_2 dall'ultima si ha:

$$I_2 = \frac{V_y}{R_2} + \frac{I_{C0}}{R_2 \beta} [R_B + R_E (\beta + 1)] \text{ e, sostituendola nella seconda, si ottiene:}$$

$$I_1 = I_0 + \frac{I_{C0}}{\beta} + \frac{V_y}{R_2} + \frac{I_{C0}}{R_2 \beta} [R_B + R_E (\beta + 1)]$$

Entrambe le espressioni I_1 e I_2 ricavate vanno sostituite nella equazione 3), così si ottiene il valore di $I_{C0} = 444 \mu A$.

6. Il circuito ai piccoli segnali da studiare è:

