

ESAME DI ELETTRONICA B – 02 febbraio 2006

SOLUZIONI

- 1) Si deve calcolare innanzi tutto la fdt del circuito, assumendo che i sia la corrente che circola su R_1 , R_2 ed L (applico il principio del corto circuito virtuale), si possono scrivere le seguenti equazioni:

$$v_i = R_1 \cdot i$$

$$(R_2 + j\omega L) \cdot i + v_o = 0$$

dalla prima si ricava $i = \frac{v_i}{R_1}$ e, sostituendo i nella seconda, si ottiene:

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{-(R_2 + j\omega L)}{R_1} \text{ che è la fdt del circuito. Per trovare la fase, ci interessa}$$

l'argomento della fdt, perciò:

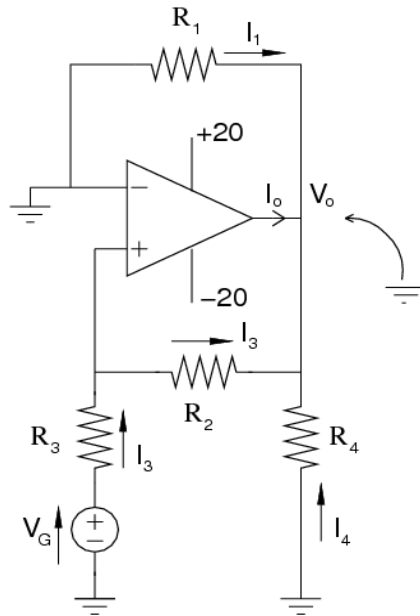
$$\arg\left(\frac{v_o}{v_i}\right) = \arctg\left(\omega \frac{L}{R_2}\right) \text{ da cui si avrà che lo sfasamento è:}$$

$$\Delta \Phi = \arctg\left(2\pi f_2 \frac{L}{R_2}\right) - \arctg\left(2\pi f_1 \frac{L}{R_2}\right)$$

In termini numerici:

$$\Delta \Phi = (0.3044 - 0.1250) \text{ rad} = 0.1794 \text{ rad} \simeq 10.3^\circ$$

- 2) Viene richiesto il valore di I_o supponendo di lavorare in cc virtuale pertanto si avrà su R_2 la medesima corrente che scorre su R_3 , come in figura:



$$V_G = R_3 \cdot I_3 \quad \text{allora} \quad I_3 = \frac{V_G}{R_3} = 4 \text{ mA}$$

$$R_2 \cdot I_3 + V_o = 0 \quad \text{quindi} \quad V_o = -R_2 \cdot I_3 = -18 \text{ V}$$

(in effetti l'opamp non satura, quindi l'ipotesi è verificata)

Valuto poi I_1 :

$$R_1 \cdot I_1 + V_o = 0 \quad \text{da cui ricavo} \quad I_1 = \frac{-V_o}{R_1} = 1.8 \text{ mA}$$

$$\text{Infine} \quad I_4 = \frac{V_o}{R_4} = 3 \text{ mA} \quad \text{e dunque si ha che} \quad I_o = -I_1 - I_3 - I_4 = -8.8 \text{ mA}$$

3) Distinguiamo due casi:

- $V_i > 0$ ($0 \leq 2\pi ft \leq \pi/2$): significa che ci sarà una corrente su R_1 orientata dal morsetto negativo verso massa, pertanto il diodo è acceso. In tal caso, trascurando la caduta ai suoi capi, si ottiene un amplificatore non invertente:

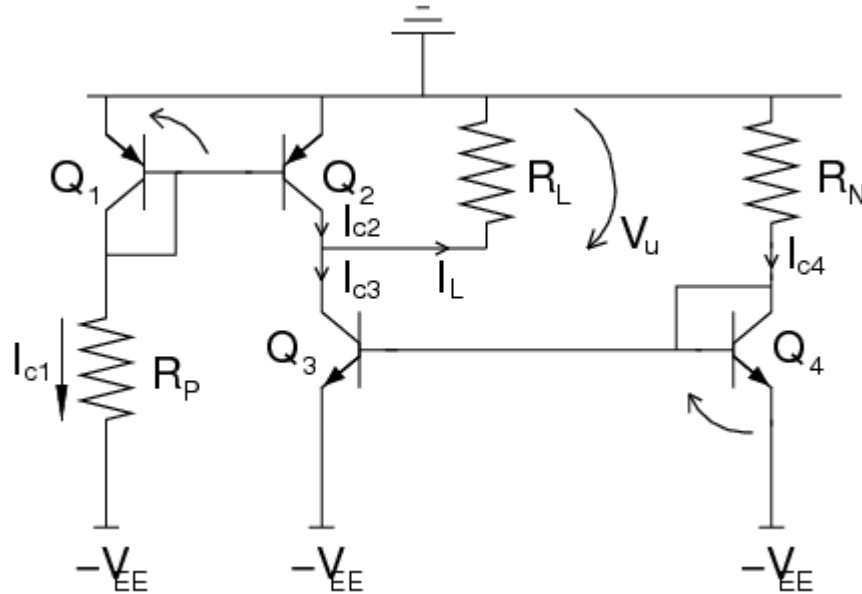
$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot v_i = 21 v_i = 2.1 \cos(2\pi ft) \quad [\text{V}]$$

- $V_i < 0$ ($\pi/2 \leq 2\pi ft \leq \pi$): il diodo è spento, al suo posto c'è un aperto e $v_o = -5 \text{ V}$.
Si può calcolare il valor medio di v_o :

$$\overline{(v_o)} = \frac{2}{\pi} \left(\int_0^{\pi/2} 2.1 \cos(2\pi ft) d(2\pi ft) - 5 \right) / 2 = -1.83 \text{ V}$$

- 4) Occorre risolvere il circuito ai grandi segnali, dato che è richiesto il valore di V_u a riposo.

Si evidenziano in figura le correnti e le tensioni di interesse:



Da $-V_{EE}$ a massa passando per Q_1 , si ha: $-V_{EE} + R_p \cdot I_{c1} + V_{\gamma} = 0$ da cui si ricava

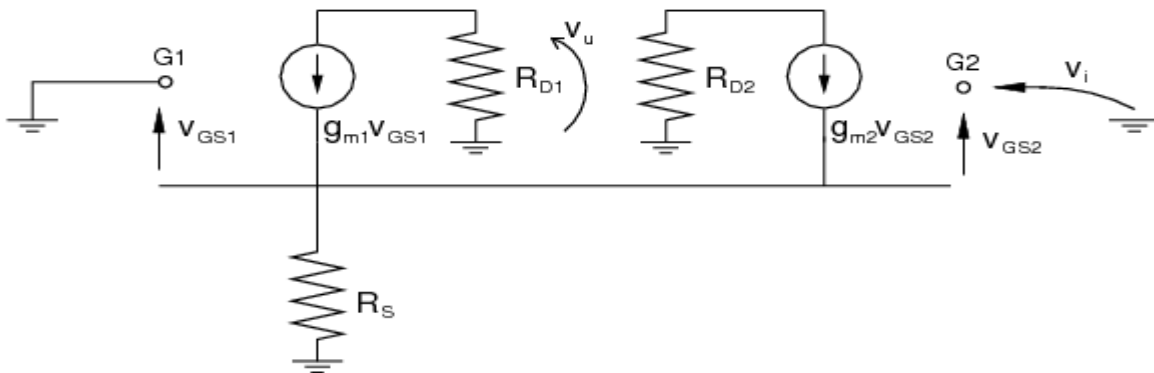
$$I_{c1} = \frac{(V_{EE} - V_{\gamma})}{R_p} = 56 \mu A . \text{ Sfruttando lo specchio } Q_1\text{-}Q_2 \text{ e il rapporto di aree, si ha:}$$

$$I_{c2} = I_{c1} / 12 = 4.67 \mu A .$$

Da $-V_{EE}$ a massa passando per Q_4 , si ricava $I_{c4} = \frac{(V_{EE} - V_{\gamma})}{R_N} = 80 \mu A$ e dal rapporto aree nello specchio $Q_3\text{-}Q_4$ si ha: $I_{c3} = I_{c4} / 10 = 8 \mu A$.

$$\text{Infine, } V_u = R_L \cdot (I_{c2} - I_{c3}) = -0.366 V$$

5) Bisogna risolvere il seguente circuito ai piccoli segnali:



$$v_{GS1} = -R_S \cdot (g_{m1} v_{GS1} + g_{m2} v_{GS2})$$

$v_{GS2} = v_i + v_{GS1}$ e sostituendo questa nella prima si ha:

$$v_{GS1} = \frac{-g_{m2} \cdot R_S}{(1 + (g_{m1} + g_{m2}) \cdot R_S)} \cdot v_i \quad \text{e infine} \quad \frac{v_u}{v_i} = \frac{(g_{m1} g_{m2} R_S R_{D1})}{(1 + (g_{m1} + g_{m2}) \cdot R_S)} = 69.2$$

6) Assumendo che il MOS sia saturo (hp), la sua corrente è:

$$I_D = \frac{1}{2} \cdot \beta_N \cdot (V_{GS0} - V_{TH})^2$$

Inoltre:

$$V_{GS0} = V_{i0} - R_G I_D \quad I_D = \frac{(V_{i0} - V_{GS0})}{R_G}$$

che, sostituita nella prima e sviluppando il binomio:

$$\frac{1}{2} \beta_N V_{GS0}^2 - \beta_N V_{GS0} V_{TH} + \frac{1}{2} \beta_N V_{TH}^2 = \frac{v_{i0}}{R_G} - \frac{v_{GS0}}{R_G}$$

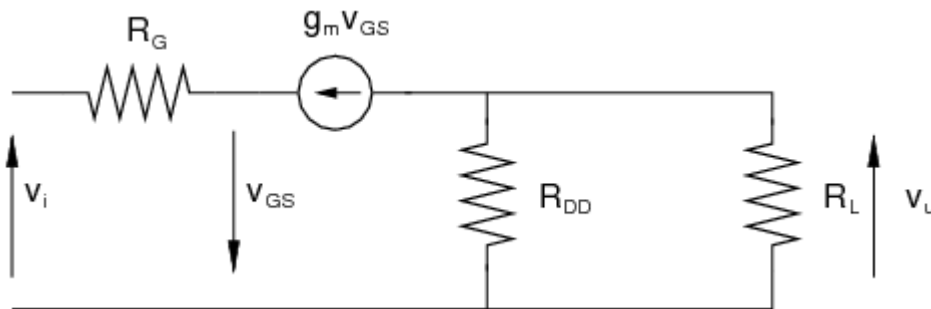
$$\beta_N V_{GS0}^2 - 2(\beta_N V_{TH} - \frac{1}{R_G}) V_{GS0} + \beta_N V_{TH}^2 - \frac{2V_{i0}}{R_G} = 0$$

$$V_{GS0} = \begin{cases} -21.6 \text{ V} \\ 3.65 \text{ V} \end{cases}$$

$$V_{GS0} = 3.65 \text{ V} \quad I_D = 7 \text{ mA} \quad I_L = 17.2 \text{ mA} \quad \text{allora } V_u = 2.58 \text{ V}$$

Il MOS è saturo come ipotizzato.

7) Il circuito ai piccoli segnali è:

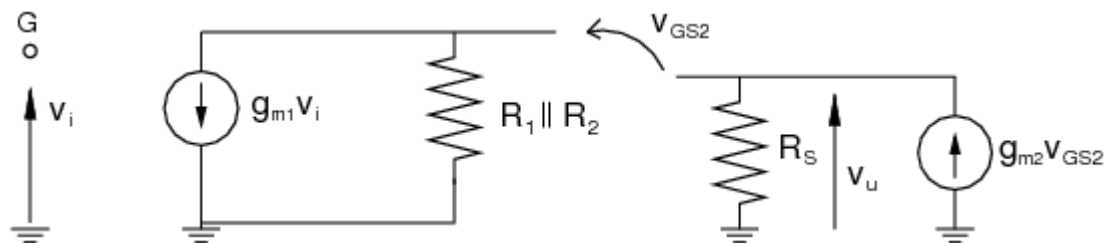


$$v_u = -g_m \cdot v_{GS} (R_{DD} \parallel R_L)$$

$$v_i + R_G g_m v_{GS} + v_{GS} = 0 \quad \text{Ricavo } v_{GS} \text{ e la sostituisco nella prima:}$$

$$\frac{v_u}{v_i} = g_m \frac{(R_{DD} \parallel R_L)}{(1 + g_m R_G)} = 0.24$$

8) Il circuito ai piccoli segnali è:



$$v_u = g_{m2} R_S v_{GS2}$$

$$v_{GS2} = -g_{m1} v_i \cdot (R_1 || R_2) - v_u$$

$$\frac{v_u}{v_i} = \frac{-(g_{m1} g_{m2} R_S (R_1 || R_2))}{(1 + g_{m2} R_S)} = -331$$