FONDAMENTI di ELETTRONICA B

Prova scritta del 11 gennaio 2006

1)

Per l' analisi di questo circuito si osservi che la corrente I_{D1} è determinata dalla tensione di polarizzazione V_{IN0} e che la coppia M2-M3 forma uno specchio di corrente PMOS con rapporto di specchiatura $I_{D3}/I_{D2} = (W/L)_{M3} / (W/L)_{M2} = 3$.

$$I_{D1} = \frac{\{K'\}_n}{2} \frac{W}{L} (V_{IN0} - V_{Tn})^2 = 500\, uA$$
$$I_{D2} = I_{D1} - I_B = 250\, uA$$

$$I_{D3} = I_{D2} \frac{(W/L)_3}{(W/L)_2} = I_{D2} \cdot 3 = 750\, uA$$

$$I_{D4} = I_{D3} = 750\, uA$$
$$V_0 = V_{Tn} + \sqrt{\frac{2I_{D4}}{(\{K'\}_n (W/L)_4)}} = 2.7\, V$$

2)

$$I_{R1} = \frac{(V_{DD} - V_\gamma)}{(R_{1A} + R_{1B})} = 53.7\, uA$$
$$I_B = 25\, uA$$

$$I_{B1} = \frac{I_{C0}}{\beta_F} = 25\mu A$$

$$I_{R2} = I_{R1} - I_{B1} = 28.7\mu A$$

$$R_2 = \frac{V_\gamma}{I_{R2}} = 24.3 k\Omega$$

Si verifica ora la condizione di saturazione per M1 e di funzionamento in zona attiva diretta per Q1:

$$V_{G1} = -I_{R1} R_{1A} + V_{DD} = 2.6V$$
$$V_{D1} = V_{DD} - R_L I_{C0} = 3V$$

Essendo $V_{G1} < V_{D1} + V_T$, M1 è in staurazione

$V_{GS1} = 1.85\, V$ (si ricava dal valore di corrente $I_{C0}=I_{D1}$)

$V_{CE1} = V_{G1} - V_{GS1} = 0.75V > V_{CEsat}$, quindi Q1 è in attiva diretta

3)
Ipotizzando che l' op.amp lavori nella zona ad alto guadagno, si ricorre all' ipostesi di corto-circuito virtuale. Si applichi, inoltre, in virtù della linearità del circuito, la sovrapposizione degli effetti, con gli stimoli V_{IN} e V_B.
Si osservi che, sotto l' ipotesi di op.amp. ideale, non scorre corrente su R_3 che può dunque essere rimossa ai fini dell' analisi.

Caso V_B=0: $V_O\left(V_B = 0\right) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{IN}$ (equazione dell' ampl. non-invertente)

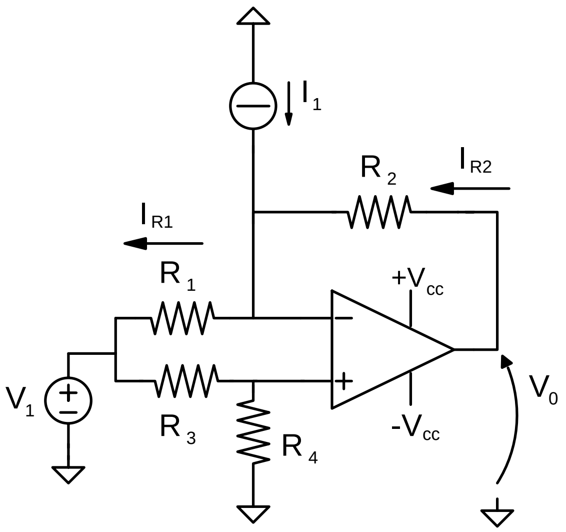
Caso V_{IN}=0:
$V_{IN-} = V_{IN+} = 0$
Essendo nulla la caduta di tensione su R_1, I_{R1}=0. Essendo $I_{R2} = I_{R1}$, si ottiene $V_O\left(V_{IN} = 0\right) = -V_B$

Quindi

$$V_O = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) - V_B = 4V$$

Essendo $\left|V_O\right| < V_M$, l' op.amp lavora nella zona ad alto guadagno, pertanto l' ipotesi di corto-circuito virtuale risulta, a posteriori, corretta.

4)



Ipotizzando che l' op.amp lavori nella zona ad alto guadagno si ricorre all' ipostesi di corto-circuito virtuale. Si applichi, inoltre, in virtù della linearità del circuito la sovrapposizione degli effetti, con gli stimoli V_{IN} e I_1.

Caso I_1=0:

$$V_{IN-} = V_{IN+} = V_1 \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$ (dato che la corrente all' ingresso IN+ è nulla)

$$I_{R2} = I_{R1} = \frac{V_{IN-} - V_{IN}}{R_1}$$

$$V_O(I_1 = 0) = V_{IN-} + I_{R2} R_2 = -V_1 \frac{R_2}{R_1}\left(\frac{R_3}{R_3 + R_4}\right) + V_1 \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 0$$

Caso V_1=0:

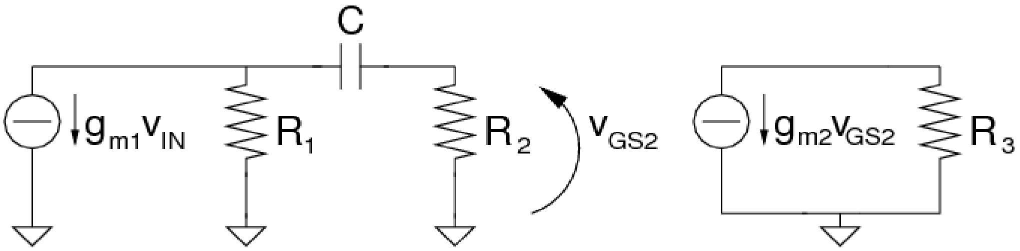
$$V_{IN-} = V_{IN+} = 0$$

$$V_O(V_1 = 0) = -I_1 R_2$$

$$V_O = V_O(I_1 = 0) + V_O(V_1 = 0) = -1.25$$

Essendo $|V_O| < V_M$, l' op.amp lavora nella zona ad alto guadagno, pertanto l' ipotesi di corto-circuito virtuale risulta, a posteriori, corretta.

5)



$v_{IN} = v_{GS1}$

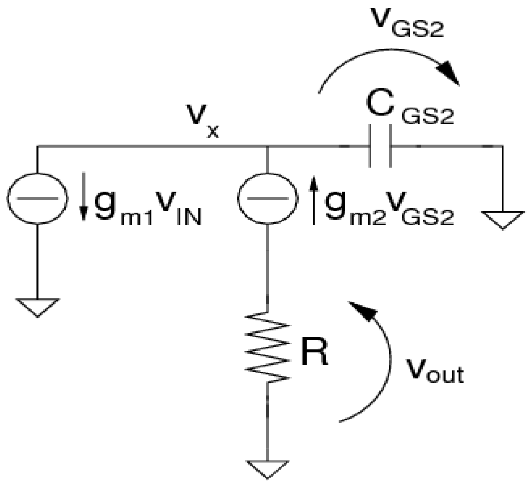
$$R_2 = R_{2A} // R_{2B}$$

$$v_{GS2} = \frac{-g_{m1} \cdot v_{IN} \cdot R_1}{(R_1 + \frac{1}{sC} + R_2)} R_2 = \frac{-g_{m1} \cdot v_{IN} \cdot scR_1 \cdot R_2}{(1 + sC(R_1 + R_2))}$$

$$v_{out} = -g_{m2} v_{GS2} R_3 = v_{IN}\, g_{m1}\, g_{m2}\, R_3 \frac{(scR_1 R_2)}{(1 + sc(R_1 + R_2))}$$

$$\omega_p = \frac{1}{((R_1 + R_2)C)} = 217\ rad/s$$

6)



$v_{IN} = v_{GS1}$

$v_{GS2} = -v_x$

Scrivendo il bilancio delle correnti al nodo di drain di M1 e di source di M2 (nodo X):

$$g_{m1} \cdot v_{IN} + g_{m2} \cdot v_x + v_x \cdot sC_{GS2} = 0$$

$$v_x = -v_{IN}\, g_{m1} \frac{1}{(g_{m2} + sC_{GS2})}$$

$$v_{out} = -g_{m2} v_{GS2} R = g_{m2} v_x R$$

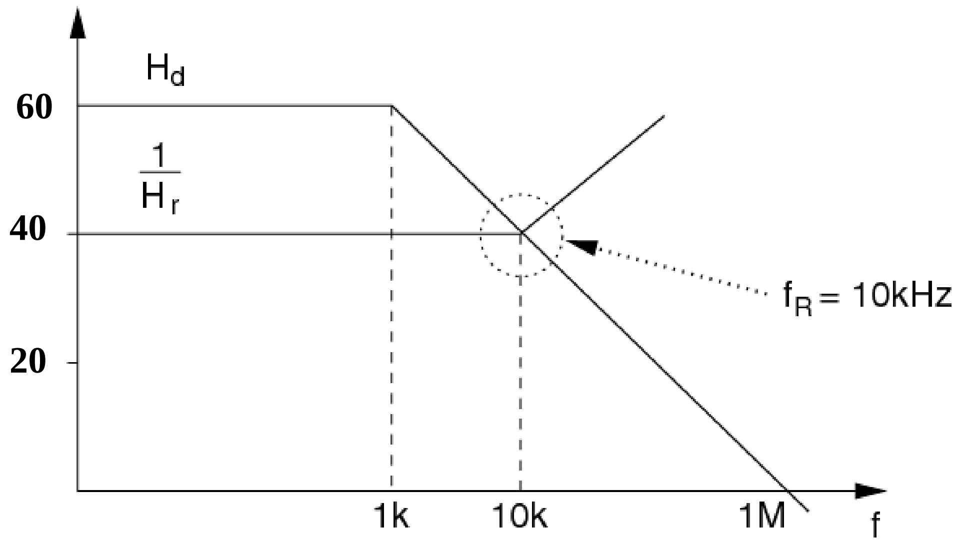
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_{m1} R \frac{1}{1 + s\frac{C_{GS2}}{g_{m2}}}$$

$$\boxed{|A_v(f)| = g_{m1} R \frac{1}{|1 + j\frac{f}{f_p}|}} \qquad f_p = \frac{g_{m2}}{C_{GS2}} \frac{1}{(2\pi)} = 63.6\ MHz$$

$$|A_v(f)| = g_{m1} \frac{R}{\sqrt{1 + (\frac{f}{f_p})^2}} = 0.53 = -5.5\, dB$$

7)

Si disegnino i diagrammi di Bode di H_d e $1/H_r$. Come si può facilmente dimostrare ed in virtù della rappresentazione in dB sull' asse verticale, il guadagno di anello è ottenibile per differenza fra le due curve: $|T|_{dB} = |H_d H_r|_{dB} = |H_d|_{dB} - \left|\frac{1}{H_r}\right|_{dB}$



Per $f_R \rightarrow \infty$, la frequenza di incrocio, f_{T0}, (cioè la frequenza alla quale $|H_d|_{dB} = |1/H_r|_{dB}$, che corrisponde alla frequenza alla quale $|T|_{dB} = 0$) vale 10kHz, come si può facilmente dedurre dai diagrammi asintotici, se si osserva che la pendenza di $|H_d|_{dB}$ per $f > f_D$ vale -20dB/dec.

Caso A: $f_R < f_{T0}$
In questo caso, T avrà sicuramente 2 poli con frequenza inferiore alla frequenza di incrocio, f_{TA}, (che sarà sicuramente minore di f_{T0}).

Ricordando che ogni polo contribuisce una variazione di fase pari a -90°, per $f \rightarrow \infty$, e pari a -45° in coincidenza della frequenza di polo, si conclude che in questo caso, $\mathbf{arg}\left[T\left(f = f_{TA}\right)\right] < -135°$
quindi il margine di fase è minore di 45°

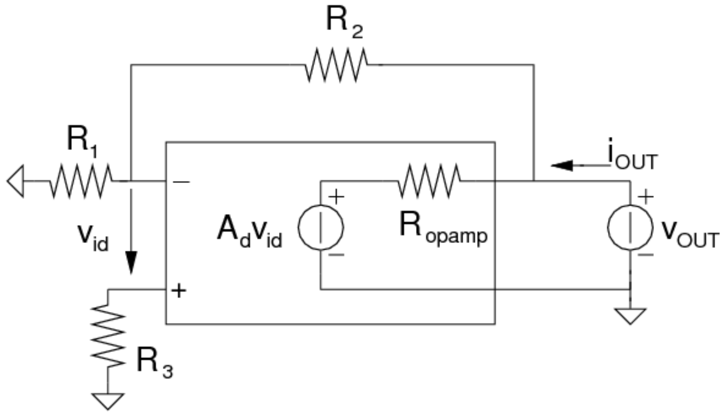
Caso B: $f_R > f_{T0}$
In questo caso la frequenza di incrocio, f_{TB}, coincide con f_{T0}. Quindi T possiede un solo polo con frequenza inferiore ad $f_{TB} = f_{T0}$. Pertanto
$\mathbf{arg}\left[T\left(f = f_{TB}\right)\right] > -135°$
quindi il margine di fase è maggiore di 45°

Si conclude che il caso di interesse è quello limite con $f_R = f_{T0}$, dove $\mathbf{arg}\left[T\left(f = f_{T0}\right)\right] = -135°$, con margine di fase pari a 45°.

Pertanto f_R = 10kHz

8)

Dal modello dell' amplificatore di tensione con resistenza di ingresso infinita:



Si osservi che non scorre corrente su R_3, in virtù della resistenza di ingresso infinita dell' op.amp. Pertanto, ai fini dell' analisi, R_3 può essere rimossa.

$v_{IN+}=0$
$v_{IN-} = -v_{id}$

$$v_{id}=-v_{OUT}\frac{R_1}{(R_1+R_2)}$$

$$i_{OUT}=\frac{v_{OUT}}{(R_1+R_2)}+\frac{(v_{OUT}-A_d v_{id})}{R_{opamp}}=\frac{v_{OUT}}{(R_1+R_2)}+\frac{v_{OUT}}{R_{opamp}}+A_d\frac{v_{OUT}}{R_{opamp}}H_r$$

$$G_{OUT}=\frac{i_{OUT}}{v_{OUT}}=\frac{1}{(R_1+R_2)}+A_d\frac{H_r}{R_{opamp}}$$

$$R_{OUT}=\frac{1}{G_{OUT}}=110\,m\Omega$$