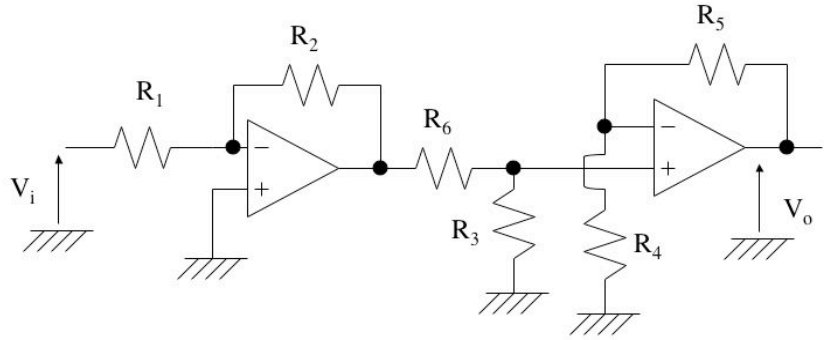
Prova scritta del 12.06.06

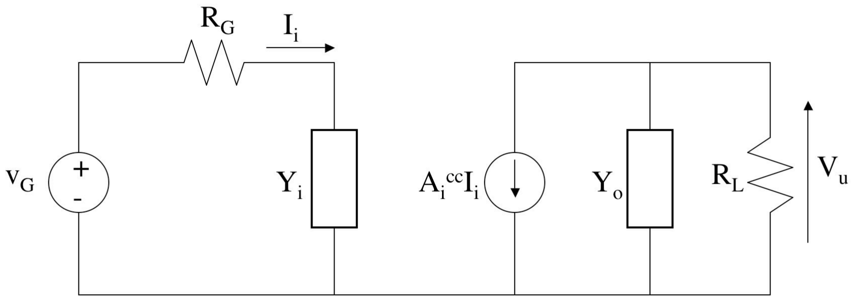
Negli esercizi, ove necessario e salvo indicazioni contrarie, si consideri che i circuiti operino a temperatura ambiente e che gli OP-AMP siano ideali. Si utilizzi V_γ = 0.7 V per le giunzioni p-n in diretta.

1) Quanto vale il guadagno V_o/V_i? R_1 = 10 kΩ, R_2 = 30 kΩ, R_3 = 15 kΩ, R_4 = 6 kΩ, R_5 = 70 kΩ, R_6 = 15 kΩ.



Il primo AO è retroazionato in modo da costituire un amplificatore invertente di guadagno – R_2/R_1 = - 3. Il partitore costituito da R_6 e R_3 determina un'attenuazione pari a $R_3/(R_6+R_3)$ = 0.5. Infine il guadagno dell'amplificatore non invertente è $1+R_5/R_4$ = 12.7. Complessivamente quindi il guadagno vale V_o/V_i = - 3 x 0.5 x 12.7 = - 19.

2) Alla frequenza di funzionamento, un amplificatore di corrente ha A_i^{cc} = 120, ammettenza di ingresso Y_i = 0.018 + j 0.01 [S], ammettenza di uscita Y_o = 0.023 + j 0.011 [S]. L'amplificatore è alimentato da un generatore di tensione v_G che ha resistenza interna R_G = 50 Ω ed è terminato in uscita su una resistenza R_L = 70 Ω. Quanto vale il modulo del guadagno di tensione v_u/v_G?

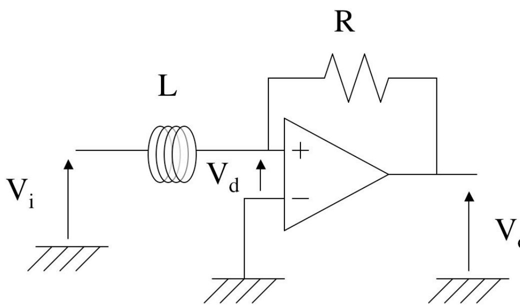


Poiché $I_i = \dfrac{V_G}{R_G + \dfrac{1}{Y_i}}$ e $V_u = -A_i^{cc} \cdot I_i \cdot \dfrac{1}{Y_o + \dfrac{1}{R_L}}$, otteniamo:

$$\frac{V_u}{V_G} = -\frac{A_i^{cc}}{\left(R_G + \frac{1}{Y_i}\right)\cdot\left(Y_o + \frac{1}{R_L}\right)} = -\frac{A_i^{cc} \cdot R_L \cdot Y_i}{\left(R_G \cdot Y_i + 1\right)\cdot\left(Y_o \cdot R_L + 1\right)}$$

e sostituendo i valori numerici: $|V_u/V_G|$ = 32.4

3) Sotto quale condizione il circuito è stabile? $V_o = A_d \cdot V_d$, $A_d > 0$.



La funzione di trasferimento V_o/V_i è:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{A_d}{1 + s \cdot \frac{L}{R} \cdot \left(1 - A_d\right)},$$

cha ha un solo polo, reale, in $p = -\dfrac{R}{L} \cdot \dfrac{1}{1 - A_d} = \dfrac{R}{L} \cdot \dfrac{1}{A_d - 1}$.

Il sistema è stabile se e solo se p <0 e quindi deve essere A_d < 1.

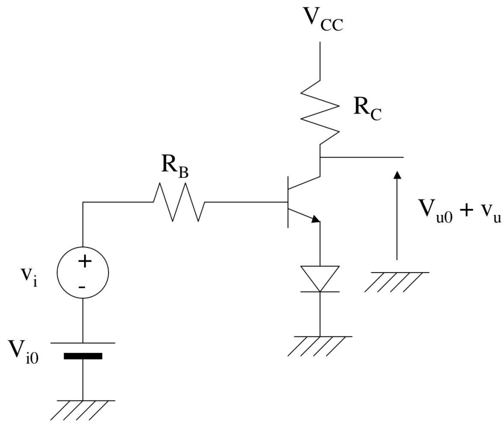
4) Un BJT di potenza ha V_B = - 1 V, V_C = 2 V, V_E = - 2 V, I_B = 8 A, I_E = 85 A. Quanta potenza è dissipata sul BJT?

I_C = 85 – 8 = 77 A. La potenza dissipata sul BJT può essere calcolata moltiplicando le tensioni ai morsetti per le rispettive correnti, assunte positive se entranti, negative se uscenti: $P_D = 77 \cdot 2 + (-85) \cdot (-2) + 8 \cdot (-1) = 316W.$ Alternativamente si può considerare $P_D = I_C \cdot V_{CE} + I_B \cdot V_{BE} = 77 \cdot 4 + 8 \cdot 1 = 316W.$

5) Quanto vale il guadagno v_u/v_i? R_B = 10 kΩ, R_C = 0.9 kΩ, V_{i0} = 1.7 V, β_F = 100.

Considerando che sulla giunzione BE del BJT e sul diodo cadano $2V_\gamma$ = 1.4 V, si ha $I_{B0} = (1.7 - 1.4)/10^4$ = 30 μA.
Dunque $I_{C0} = \beta_F I_{B0}$ = 3 mA, $g_m = 1/r_D = V_T/I_{C0}$ = 0.115 S, r_{BE} = 870 Ω, essendo r_D la resistenza differenziale del diodo.
Il guadagno di tensione è quindi:

$$\frac{v_u}{v_i} \approx \frac{-g_m \cdot R_C}{\frac{R_B}{r_{BE}} + 1 + g_m \cdot r_D} = \frac{-g_m \cdot R_C}{\frac{R_B}{r_{BE}} + 2} \approx -7.67.$$



6) Supponendo che il MOSFET lavori in saturazione e che l'amplificatore operi in classe A, calcolare il valore massimo dell'efficienza. R_D = 100 Ω, V_{DD} = 3.5 V, V_{G0} = 3 V, V_{TH} = 1 V, $\mu_n c_{OX} = 1.73\ 10^{-4}$ AV^{-2}, W = 7 μm, L = 0.35 μm.

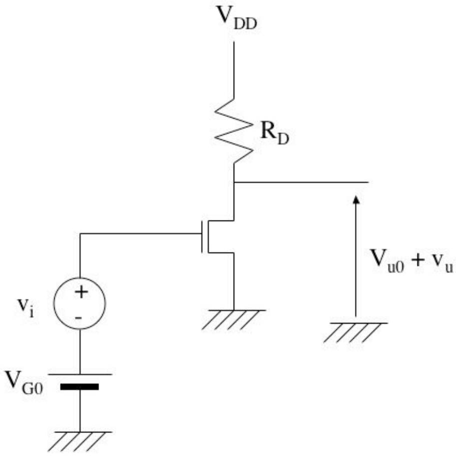
$$I_{D0} = \frac{1}{2} \cdot \mu_n c_{ox} \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 = 0.5 \cdot 1.73 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{7}{0.35} \cdot 2^2 = 6.9mA.$$

$$V_{u0} = V_{DD} - R_D \cdot I_{D0} = 3.5 - 100 \cdot 6.9 \cdot 10^{-3} = 2.81V.$$

La potenza ceduta dal generatore V_{DD} è $P_D = I_{D0}V_{DD}$ = 24.15 mW.
La potenza utile massima sul carico corrisponde alla condizione in cui V_u raggiunge durante il ciclo del segnale il valore massimo V_{DD} = 3.5 V, per cui l'ampiezza del segnale di uscita vale $V_{DD} - V_{u0}$ = 3.5 – 2.81 = 0.69 V. Di conseguenza la potenza utile sul carico è

$$P_u = \frac{(V_{DD} - V_{u0})^2}{2 \cdot R_D} = \frac{0.69^2}{200} = 2.38mW$$

e quindi $\eta = \frac{2.38}{24.15} = 9.9\%$.



7) In uno specchio di corrente i due BJT, identici, hanno tensione di Early V_A = 20 V. Qual è il massimo valore della tensione di uscita compatibile con un errore relativo sulle correnti del 5%?

La corrente sul BJT del ramo di riferimento vale $I_{C1} = I_S \cdot e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \cdot \left(1 + \frac{V_{BE}}{V_A}\right)$, mentre sul ramo di uscita la corrente è

$I_{C2} = I_S \cdot e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \cdot \left(1 + \frac{V_o}{V_A}\right)$. Quindi l'errore relativo tra le due correnti è

$$\Delta = \frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{C1}} = \frac{1 + \frac{V_o}{V_A} - \left(1 + \frac{V_{BE}}{V_A}\right)}{1 + \frac{V_{BE}}{V_A}} = \frac{\frac{V_o}{V_A} - \frac{V_{BE}}{V_A}}{1 + \frac{V_{BE}}{V_A}} = \frac{V_o - V_{BE}}{V_A + V_{BE}} = 5\%,$$

da cui $V_o = V_{BE} + 0.05 \cdot (V_A + V_{BE}) = 0.7 + 0.05 \cdot 20.7 \approx 1.73\text{V}$.

8) Il guadagno dell'operazionale sia $V_o/V_d = A_0/(1+s/\omega_p)$, $A_0 > 0$. Per quali valori di A_0 il circuito è stabile? R_1 = 10 kΩ, R_2 = 50 kΩ, R_3 = 20 kΩ, R_4 = 4.1 kΩ.

Poiché $V_i - \frac{V_i - V_u}{R_1 + R_2} \cdot R_1 - \frac{V_u}{R_3 + R_4} \cdot R_4 = -V_d = -\frac{V_u}{A_d} = -\frac{V_u \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_p}\right)}{A_0}$

si trova, riordinando i termini:

$$\frac{V_u}{V_i} = \frac{A_0 \cdot R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{A_0 \cdot (R_2 R_4 - R_1 R_3) - (R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4) - \frac{s}{\omega_p} \cdot (R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)}$$

e quindi il polo del guadagno di tensione è

$p = \omega_p \cdot \left(\frac{A_0 \cdot (R_2 R_4 - R_1 R_3)}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} - 1\right)$ ed il sistema è stabile se e solo se

$A_0 < \frac{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 R_4 - R_1 R_3} \approx 289.$