

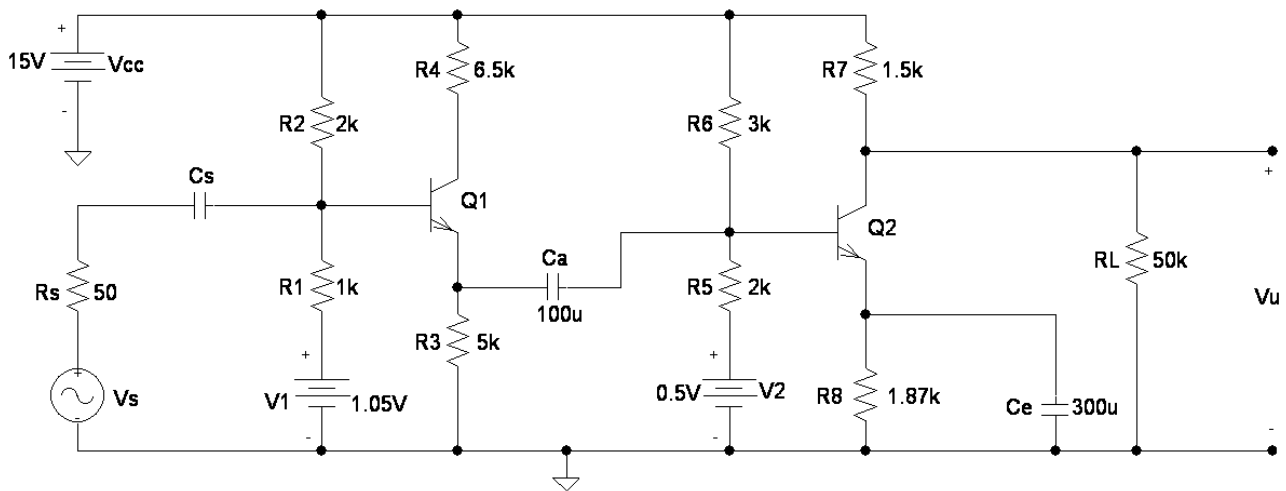
Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
 23 luglio 2015

1. Sia dato un amplificatore con $A_{v_o} = 500$, $R_{in} = 1 \text{ M}\Omega$, $R_{out} = 1 \text{ K}\Omega$. Imporre una reazione in modo da ottenere resistenza d'ingresso minore di 100Ω e una resistenza di uscita uguale a 50Ω (con una tolleranza del 5%). [6 punti]
2. Disegnare e dimensionare un generatore d'onda triangolare a frequenza 2 KHz , con onda simmetrica, valori di picco $+3 \text{ V}$ e -3 V . Giustificare in dettaglio il procedimento. [6 punti]
3. Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:
 - il punto di riposo dei due transistori, [5 punti]
 - l'amplificazione V_u/V_s a centrobanda, [4 punti]
 - il limite superiore di banda. [6 punti]

NOTE:

- Q_1 è resistivo;
- I BJT sono BC109B con $h_{oe} = 0$;
- C_s ha valore praticamente infinito.

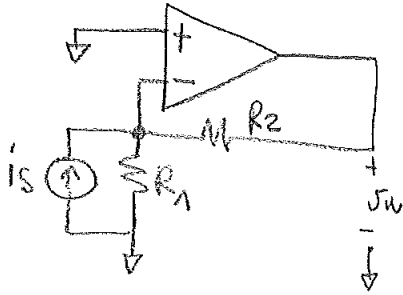
Punteggio totale Parte B: 14.



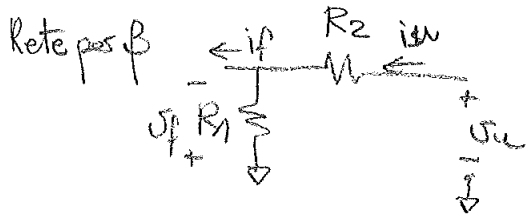
Esercizio 1

$$\begin{array}{l|l} A_{v0} = 500 & R_{if} < 100 \Omega \\ R_{in} = 1 \text{ M}\Omega & R_{of} = 50 \Omega \quad (\pm 5\%) \\ R_{out} = 1 \text{ K}\Omega & \end{array}$$

Abbiamo bisogno di una rete parallelo-parallelo



senza altre indicazioni, poniamo $R_L = 0$, $R_S \rightarrow \infty$

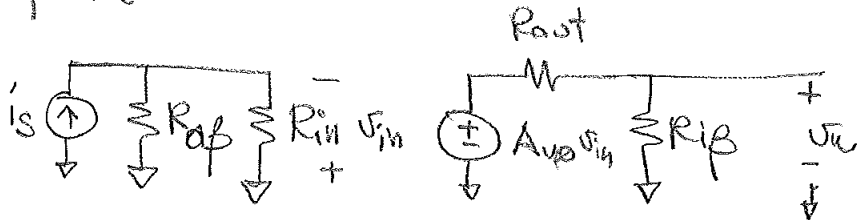


$$i_f = \beta v_u + v_f / R_{of}$$

$$i_u = \frac{v_u}{R_{if}} + K i_f$$

$$\beta = \left. \frac{i_f}{v_u} \right|_{v_f=0} = \frac{1}{R_2}; \quad R_{of} = \left. \frac{v_f}{i_f} \right|_{v_u=0} = R_1 / R_2; \quad R_{if} = \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{i_f=0} = R_2$$

Rete per A_e



$$A_{e0} = \frac{v_u}{i_s} = \frac{-R_{if} A_{v0} (R_{in} // R_{of})}{R_{\beta} + R_{out}}$$

$$R_{of} = \frac{R_{out} // R_{if}}{1 - \beta A_{e0}} = \frac{R_{out} // R_2}{1 + \frac{1}{R_2} \frac{R_2}{R_2 + R_{out}} A_{v0} (R_{in} // R_1 // R_2)}$$

$$R_{of} = \frac{\overset{50}{R_{out}} // \overset{1000}{R_2}}{1 + \frac{A_{v0}^{500}}{R_2 + R_{out}} (R_{in} // R_1 // R_2)}$$

poniamo $R_2 = 1\text{K}\Omega$, Dobbiamo avere $1 - \beta A_{\text{ext}} = 10$ che basta ed avere $R_{\text{in}} < 100\Omega$

$$R_{\text{in}} // R_1 // R_2 = \frac{R_2 + R_{\text{out}}}{A_{\text{ext}}} \left[\frac{R_{\text{out}} // R_2}{R_{\text{of}}} - 1 \right] =$$

$$= \frac{2000}{500} \left[\frac{500}{50} - 1 \right] = 36 \Omega$$

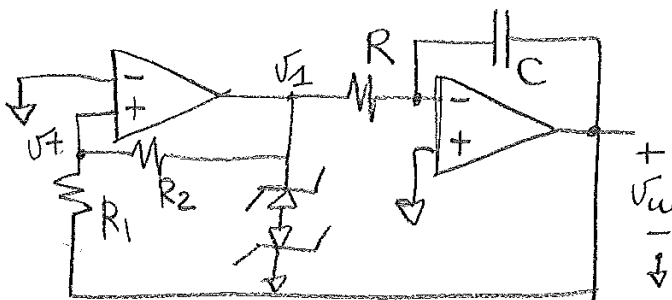
posso trascurare R_{in} nel parallelo

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 36 \Omega \rightarrow R_1 = \frac{36 \Omega \cdot R_2}{R_2 - 36 \Omega} = \underline{\underline{37.3 \Omega}}$$

da cui

$$R_{\text{if}} = \frac{R_{\text{of}} // R_{\text{in}}}{1 - \beta A_{\text{ext}}} = \frac{R_1 // R_2 // R_{\text{in}}}{1 - \beta A_{\text{ext}}} = \frac{36}{10} = \underline{\underline{3.6 \Omega}}$$

Esercizio 2



$$\frac{dV_u}{dt} = -\frac{V_1}{RC}$$

si ha commutazione quando $V_u R_2 + V_1 R_1 = 0$

se scegliamo $V_0 = V_2 + V_f = 6\text{V}$ [$V_2 = 5.4\text{V}$]

e scegliamo $R_2 = 2R_1 = 70\text{K}\Omega$ abbiamo le commutazioni quando $V_u = \pm 3\text{V}$

La semionda deve durare $\frac{1}{2 \cdot 2\text{KHz}} \cdot \frac{1}{2} = 250\mu\text{s}$

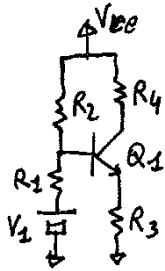
$$\frac{\Delta V_u}{\Delta T} = \frac{V_1}{RC} \rightarrow \Delta T = \Delta V_u \frac{RC}{V_1} = \frac{6 \cdot RC}{6}$$

scegliamo $C = 1\mu\text{F}$, $R = 250\Omega$

Esercizio 3

PUNTO DI RIPOSO DI Q_1 :

SOVR. EFFETTI + HP P.P.



$$V_{B1} = V_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5,7V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - V_f = 5V$$

$$I_{C1} \approx I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_3} = 1mA$$

$$V_{CE1} = V_{cc} - (R_3 + R_4)I_{C1} = 3,5V$$

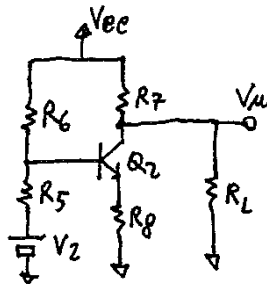
VERIFICA HP. DI PARTITORE PESANTE PER Q_1 :

$$\beta_{FE1} \approx 0,9 \cdot 290 = 261 \Rightarrow I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta_{FE1}} \approx 3,83 \mu A$$

$$I_{R_{1,2}} = \frac{V_{cc} - V_1}{R_1 + R_2} = 4,6mA \gg I_{B1} \Rightarrow OK$$

PUNTO DI RIPOSO DI Q_2 :

SOVR. EFFETTI + HP P.P.



$$V_{B2} = V_{cc} \frac{R_6}{R_5 + R_6} + V_2 \frac{R_6}{R_5 + R_6} = 6,3V$$

$$V_{E2} = V_{B2} - V_f = 5,6V$$

$$I_{C2} \approx I_{E2} = \frac{V_{E2}}{R_8} = 3mA$$

$$\text{Legge al nodo } V_u: I_{C2} = \frac{V_{cc} - V_u}{R_7} - \frac{V_u}{R_L} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_u = (R_7 // R_L) \left[\frac{V_{cc}}{R_7} - I_{C2} \right] \approx 10,2V$$

$$V_{CE2} = V_u - V_{E2} \approx 4,6V$$

VERIFICA HP. DI PARTITORE PESANTE PER Q_2 :

$$\beta_{FE2} \approx 1 \cdot 290 = 290 \Rightarrow I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta_{FE2}} \approx 10,35 \mu A$$

$$I_{R_{5,6}} = \frac{V_{cc} - V_2}{R_5 + R_6} \approx 2,9mA \gg I_{B2} \Rightarrow OK$$

CALCOLO DEI PARAMETRI DI PICCOLO SEGNALE:

$$\beta_{fe} = 300 \text{ per entrambi}$$

$$h_{ie} @ 2mA = 4,8K\Omega$$

$$r_{e1} @ 2mA = \frac{V_T \beta_{fe}}{I_C @ 2mA} = 3,9K\Omega \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r_{e1}' = h_{ie} - r_{e1} = 900\Omega$$

$$r_{e1} @ 1mA = \frac{V_T \beta_{fe}}{I_{C1}} = 7,8K\Omega \Rightarrow h_{ie1} = 8,7K\Omega$$

$$r_{e2} @ 3mA = \frac{V_T \beta_{fe}}{I_{C2}} = 2,6K\Omega \Rightarrow h_{ie2} = 3,5K\Omega$$

$$f_{m1} = \frac{I_{e1}}{V_T} = 38,5 \text{ mS} \quad , \quad f_{m2} = \frac{I_{e2}}{V_T} = 115,4 \text{ mS}$$

$$V_{EB1} = V_{EE1} - V_T = 2,8 \text{ V} \Rightarrow C_{b'e1} \approx 5,5 \text{ pF} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_{b'e1} = \frac{f_{m1}}{2\pi f_{T1}} - C_{b'e1}$$

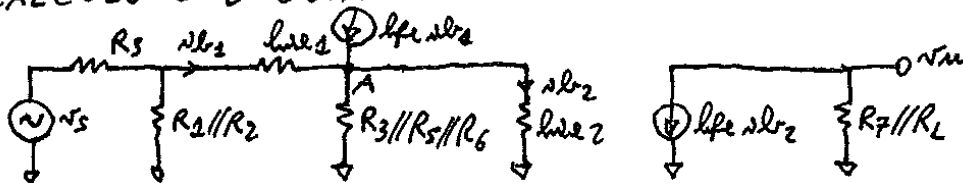
$$\text{Essendo } f_{T1} \approx 125 \text{ MHz, risulta: } C_{b'e1} \approx 43,5 \text{ pF}$$

$$V_{EB2} = V_{EE2} - V_T = 3,9 \text{ V} \Rightarrow C_{b'e2} \approx 5 \text{ pF} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_{b'e2} = \frac{f_{m2}}{2\pi f_{T2}} - C_{b'e2}$$

$$\text{Essendo } f_{T2} \approx 160 \text{ MHz, risulta: } C_{b'e2} \approx 109,8 \text{ pF}$$

CALCOLO DEL GUADAGNO A CENTRO BANDA:



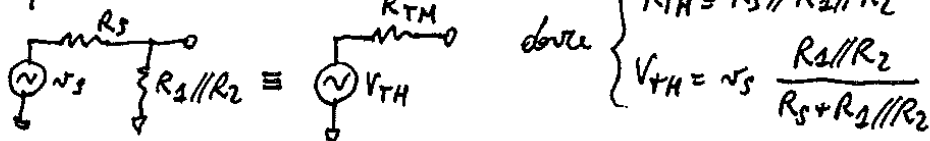
$$v_U = -(R_7 // R_L) h_{fe2} i_{B2}$$

$$v_A = h_{ee2} i_{B2} = (R_3 // R_5 // R_6) [(h_{fe1} + 1) i_{B1} - i_{B2}] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i_{B2} = \frac{(R_3 // R_5 // R_6) (h_{fe1} + 1)}{h_{ee2} + (R_3 // R_5 // R_6)} i_{B1} = 2 \cdot i_{B1}$$

$2 \approx 65,2$

Eq. di Thevenin:

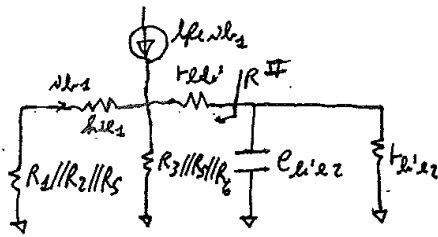


$$i_{B1} = \frac{V_{TH} - v_A}{R_{TH} + h_{ie1}} = \frac{V_{TH} - h_{ee2} \cdot 2 \cdot i_{B1}}{R_{TH} + h_{ie1}} \Rightarrow i_{B1} = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + h_{ie1} + 2 h_{ee2}}$$

$$A_{EB} = \frac{v_U}{v_S} = - \frac{(R_7 // R_L) h_{fe2} \cdot 2}{R_{TH} + h_{ie1} + 2 h_{ee2}} \cdot \frac{R_1 // R_2}{R_S + R_1 // R_2} \approx -111,8$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA:

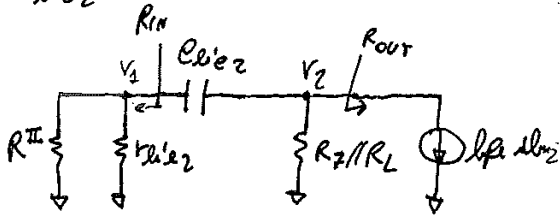
$R_{v_{b'e2}}$:



$$R_{v_{b'e2}} \Big|_{C_{b'e} \text{ aperto}} = r_{b'e2} \parallel R_{II} \approx 684 \Omega$$

$$\text{ovvero } R_{II} = r_{b'e1} + R_3 \parallel R_5 \parallel R_6 \parallel \left[\frac{R_{b'e1} + R_5 \parallel R_2 \parallel R_2}{\beta \beta + 1} \right] \approx 928,21 \Omega$$

$R_{v_{b'e2}}$:



$$R_{v_{b'e2}} \Big|_{C_{b'e} \text{ aperto}} = R_{IN} (1 + |\beta|) + R_{OUT} \approx 117 K\Omega$$

$$\text{ovvero } \begin{cases} R_{IN} = r_{b'e2} \parallel R_{II} \approx 684 \Omega \\ R_{OUT} = R_7 \parallel R_L = 1,46 K\Omega \\ A_V = \frac{V_2}{V_1} = - \frac{\beta (R_7 \parallel R_L)}{r_{b'e2}} = -\beta \mu (R_7 \parallel R_L) \approx -168 \end{cases}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi [C_{b'e2} R_{v_{b'e2}} + C_{b'e1} R_{v_{b'e1}}]} \approx 241 KHz$$