

Esame di Elettronica
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
16 luglio 2008
Parte A

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%).
2. Disegnare e dimensionare un generatore d'onda triangolare a frequenza 2 KHz, con onda simmetrica, valori di picco +3 V e -3 V. Giustificare in dettaglio il procedimento.
3. Disegnare il circuito e spiegare il funzionamento di un Flip-Flop SR realizzato in logica CMOS.
4. Disegnare e dimensionare un filtro biquadratico che abbia due poli $s_{p1}, s_{p2} = -1000 \pm 5000 \text{ rad/s}$ e uno zero nell'origine. Giustificare in dettaglio il procedimento.

Punteggio totale Parte A: 14

Parte B

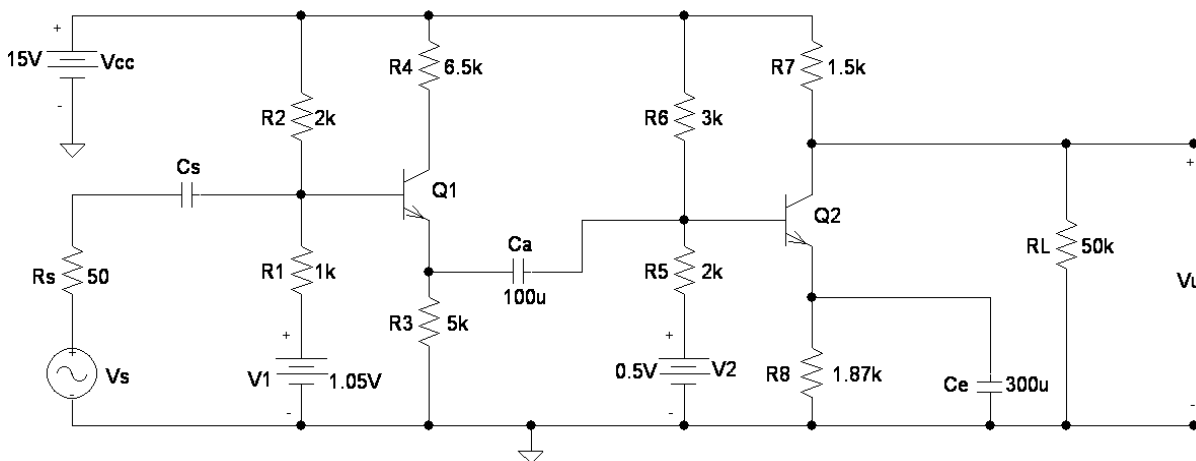
Dato l'amplificatore disegnato in figura, calcolare:

- il punto di riposo dei due transistori,
- l'amplificazione V_u/V_s a centrobanda,
- il limite superiore di banda e il limite inferiore di banda

NOTE:

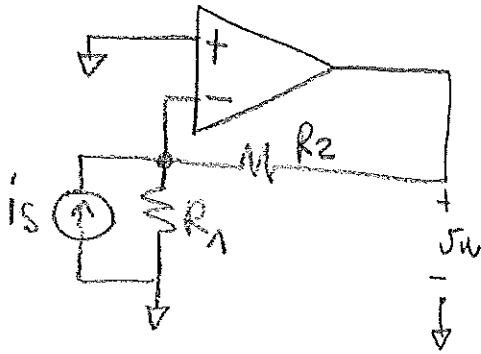
- Q1 è resistivo;
- I BJT sono BC109B con $h_{oe} = 0$;
- C_s ha valore praticamente infinito.

Punteggio totale Parte B: 14.

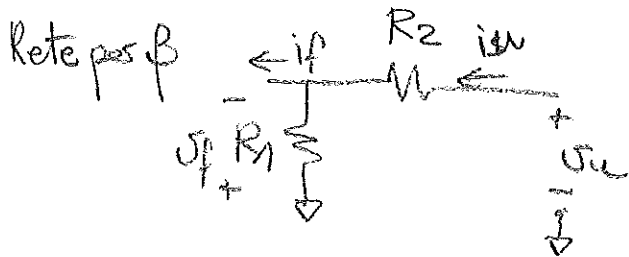


$$\begin{array}{l|l} A_{vo} = 500 & R_{if} < 100 \Omega \\ R_{in} = 1 \text{ M}\Omega & R_{of} = 50 \Omega \quad (\pm 5\%) \\ R_{out} = 1 \text{ K}\Omega & \end{array}$$

Abbiamo bisogno di una sezione parallelo-parallelo



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

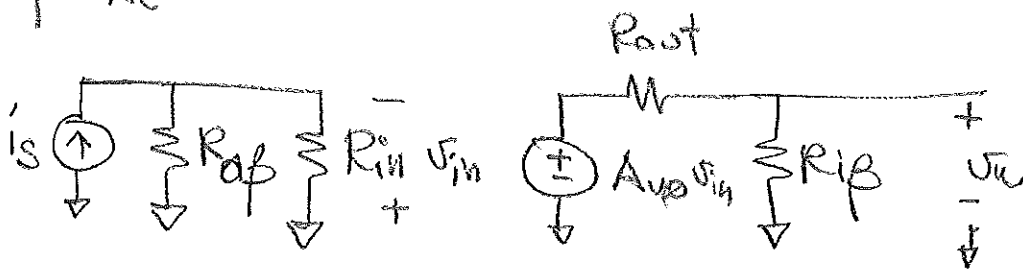


$$i_f = \beta v_u + v_f / R_{o\beta}$$

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

$$\beta = \frac{i_f}{v_u} \Big|_{v_f=0} = \frac{1}{R_2}; \quad R_{o\beta} = \frac{v_f}{i_f} \Big|_{v_u=0} = R_1 // R_2; \quad R_{i\beta} = \frac{v_u}{i_u} \Big|_{v_f=0} = R_2$$

Rete per A_e



$$A_{eo} = \frac{v_u}{i_s} = \frac{-R_{i\beta} A_{vo} (R_{in} // R_{o\beta})}{R_{\beta} + R_{out}}$$

$$R_{of} = \frac{R_{out} // R_{i\beta}}{1 - \beta A_{eo}} = \frac{R_{out} // R_2}{1 + \frac{1}{R_2} \frac{R_2}{R_2 + R_{out}} A_{vo} (R_{in} // R_1 // R_2)}$$

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

poniamo $R_2 = 1k\Omega$, Dobbiamo avere $1 - \beta A_{v0} = 10$ che basta ad avere $R_{in} < 1000\Omega$

$$R_{in} // R_1 // R_2 = \frac{R_2 + R_{out}}{A_{v0}} \left[\frac{R_{out} // R_2}{R_{OF}} - 1 \right] =$$

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

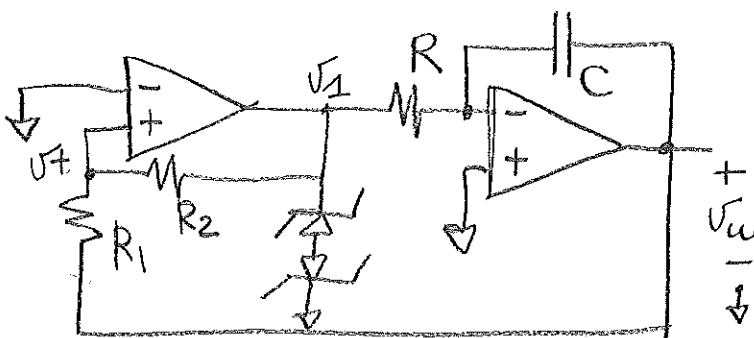
posso trascurare R_{in} nel parallelo

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

da cui

$$R_{IF} = \frac{R_{op} // R_{in}}{1 - \beta A_{v0}} = \frac{R_1 // R_2 // R_{in}}{1 - \beta A_{v0}} = \frac{36}{10} = \underline{\underline{3.6 \Omega}}$$

Es. 2



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

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

se scegliamo $V_0 = V_2 + V_T = 6V$ [$V_2 = 5.4V$]

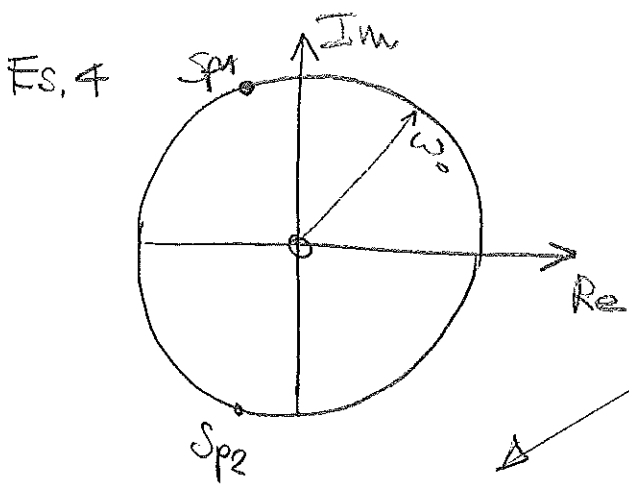
e scegliamo $R_2 = 2R_1 = 70k\Omega$ otteniamo le commutazioni quando $V_u = \pm 3V$

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

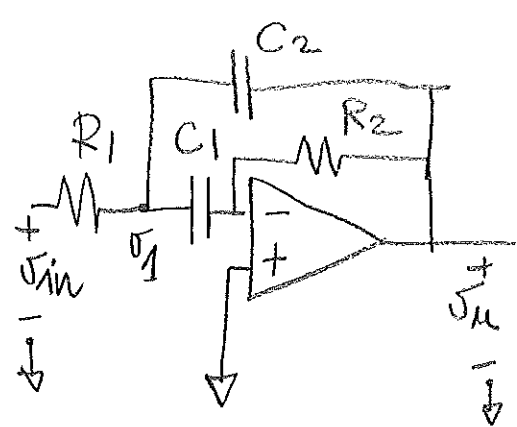
$$\frac{\Delta V_u}{\Delta T} = \frac{V_1}{RC} \rightarrow \Delta T = \Delta V_u \frac{RC}{V_1} = \frac{6 \cdot RC}{6}$$

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

Es. 3 - Per le soluzioni controllare libro di testo o appunti dalle lezioni



si tratta di un filtro biquadratico
 passa banda che può ad esempio
 ottenersi con un filtro di Belyussis.



$$\begin{cases} V_1 \left(\frac{1}{R_1} + C_1 s + C_2 s \right) - \frac{V_{in}}{R_1} - C_2 s V_u = 0 \\ -V_1 C_1 s + \frac{1}{R_2} V_u = 0 \\ V_1 = -\frac{V_u}{R_2 C_1 s} \end{cases}$$

$$\frac{V_u}{R_1 R_2 C_1 s} \left(1 + R_1 C_1 s + R_1 C_2 s \right) - \frac{V_{in}}{R_1} - C_2 s V_u = 0$$

$$\frac{V_u}{V_{in}} = -\frac{R_2 C_1 s}{R_1 R_2 C_2 s^2 + R_1 (C_1 + C_2) s + 1}$$

$$R_1 R_2 C_1 C_2 = \frac{1}{\omega_0^2}$$

④

$$\frac{R(C_1 + C_2)}{R_1 R_2 C_1 C_2} = 2000 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

poniamo $C_1 = C_2 = 1 \mu\text{F} = \text{C}$

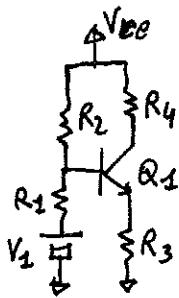
otteniamo $R_2 = \frac{2}{C \cdot 2000} = 1 \text{K}\Omega$

$$R_1 = \frac{1}{R_2 C_1 C_2 \omega_0^2} = \frac{1}{10^3 \cdot 10^{-12} \cdot (10^6 + 25 \cdot 10^6)} = 38.46 \Omega$$

PARTE B

PUNTO DI RIPOSO DI Q_1 :

SOVR. EFFETTI + HP P.P.



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

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

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

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

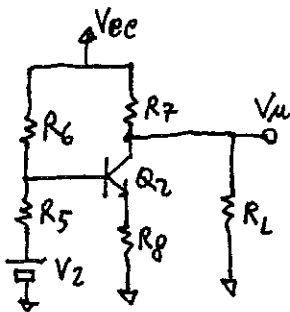
VERIFICA HP. DI PARTITORE PESANTE PER Q_1 :

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

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

PUNTO DI RIPOSO DI Q_2 :

SOVR. EFFETTI + HP P.P.



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

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

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

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

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

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

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:

$h_{fe} = 300$ per entrambi

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

$r_{be}' @ 2mA = \frac{V_T \cdot h_{fe}}{I_c @ 2mA} = 3,9 K\Omega \Rightarrow$

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

$r_{be1}' = \frac{V_T \cdot h_{fe}}{I_{e1}} = 7,8 K\Omega \Rightarrow h_{ie1} = 8,7 K\Omega$

$r_{be2}' = \frac{V_T \cdot h_{fe}}{I_{e2}} = 2,6 K\Omega \Rightarrow h_{ie2} = 3,5 K\Omega$

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

$V_{EB1} = V_{CE1} - V_{\gamma} = 2,8V \Rightarrow C_{be1}' \approx 5,5 pF \Rightarrow$

$\Rightarrow C_{be1} = \frac{f_{m1}}{2\pi f_T} - C_{be1}'$

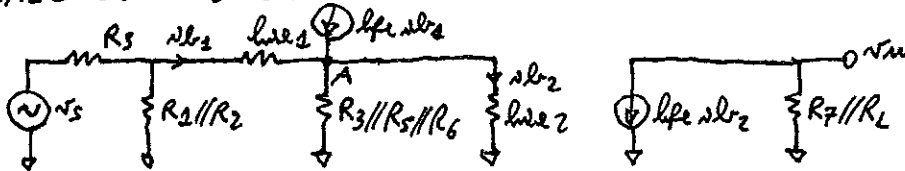
Essendo $f_T \approx 125 MHz$, risulta: $C_{be1} \approx 43,5 pF$

$V_{EB2} = V_{CE2} - V_{\gamma} = 3,9V \Rightarrow C_{be2}' \approx 5 pF \Rightarrow$

$\Rightarrow C_{be2} = \frac{f_{m2}}{2\pi f_T} - C_{be2}'$

Essendo $f_T \approx 160 MHz$, risulta: $C_{be2} \approx 109,8 pF$

CALCOLO DEL GUADAGNO A CENTRO BANDA:

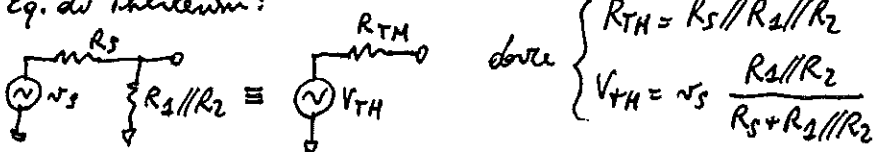


$v_u = -(R_7 // R_L) h_{fe} \cdot v_{be2}$

$v_A = h_{ie2} \cdot v_{be2} = (R_3 // R_5 // R_6) [(h_{fe} + 1) v_{be1} - v_{be2}] \Rightarrow$

$\Rightarrow v_{be2} = \frac{(R_3 // R_5 // R_6) (h_{fe} + 1)}{h_{ie2} + (R_3 // R_5 // R_6)} v_{be1} = 2 \cdot v_{be1}$
 $2 \approx 65,2$

Eq. di Thevenin:



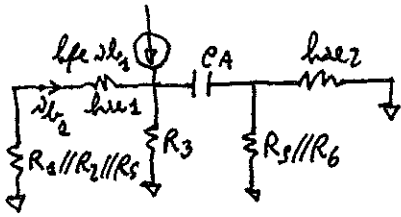
dove $\begin{cases} R_{TH} = R_5 // R_1 // R_2 \\ V_{TH} = v_s \frac{R_1 // R_2}{R_5 + R_1 // R_2} \end{cases}$

$v_{be2} = \frac{V_{TH} - v_A}{R_{TH} + h_{ie2}} = \frac{V_{TH} - h_{ie2} \cdot 2 v_{be1}}{R_{TH} + h_{ie2}} \Rightarrow v_{be1} = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + h_{ie2} + 2 h_{ie2}}$

$A_{CB} = \frac{v_u}{v_s} = - \frac{(R_7 // R_L) h_{fe} \cdot 2}{R_{TH} + h_{ie2} + 2 h_{ie2}} \frac{R_1 // R_2}{R_5 + R_1 // R_2} \approx -111,8$

LIMITE INFERIORE DI BANDA:

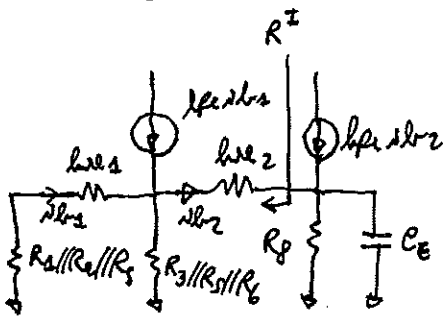
R_{vea} :



$$R_{vea} \Big|_{C_E \text{ corto}} = R_S // R_C // h_{ie2} + R_3 // \left[\frac{h_{ie1} + R_1 // R_2 // R_S}{h_{\beta e1} + 1} \right]$$

$$\approx 922,51 \Omega$$

R_{vee} :



$$R_{vee} \Big|_{C_A \text{ corto}} = R_8 // \left[\frac{R^I}{h_{\beta e1} + 1} \right] \approx 11,65 \Omega$$

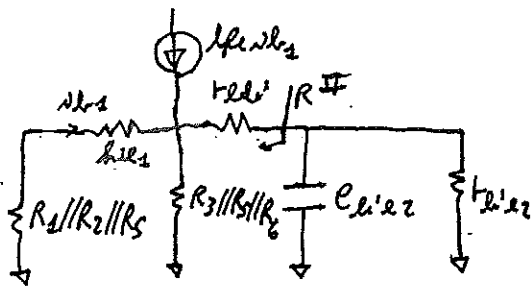
$$\text{dove } R^I = h_{ie2} + R_3 // R_4 // R_S // \left[\frac{h_{ie1} + R_1 // R_2 // R_S}{h_{\beta e1} + 1} \right]$$

$$\approx 3,53 \text{ K}\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{C_A R_{vea}} + \frac{1}{C_E R_{vee}} \right] \approx 47,27 \text{ Hz}$$

LIMITE SUPERIORE DI BANDA:

$R_{vb'22}$:

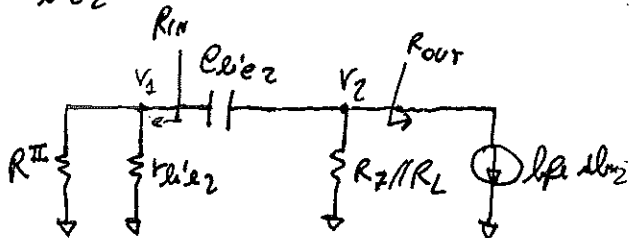


$$R_{vb'22} \Big|_{C_E' \text{ aperto}} = r_{b'e2} // R^{II} \approx 684 \Omega$$

$$\text{dove } R^{II} = r_{b'e1} + R_3 // R_4 // R_S // \left[\frac{h_{ie1} + R_1 // R_2 // R_S}{h_{\beta e1} + 1} \right]$$

$$\approx 928,21 \Omega$$

$R_{vb'e2}$:



$$R_{vb'e2} \Big|_{C_E' \text{ aperto}} = R_{in} (1 + |A_v|) + R_{out} \approx 117 \text{ K}\Omega$$

$$\text{dove } \begin{cases} R_{in} = r_{b'e2} // R^{II} \approx 684 \Omega \\ R_{out} = R_7 // R_L = 1,46 \text{ K}\Omega \\ A_v = \frac{V_2}{V_1} = - \frac{h_{\beta e} (R_7 // R_L)}{r_{b'e2}} = \\ \approx -g_{m2} (R_7 // R_L) \approx -168 \end{cases}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi [C_{b'e2} R_{vb'e2} + C_{e'22} R_{vb'22}]} \approx 24,1 \text{ KHz}$$